

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Studium nátěrových systémů vhodných pro údržbu

The Study of Coating Systems Suitable for Maintenance

Student: Jakub Kovačik

Vedoucí bakalářské práce: Ing. René Siostrzonek, Ph.D.

Ostrava 2017

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Zadání bakalářské práce

Student: **Jakub Kovačik**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: Studium nátěrových systémů vhodných pro údržbu
The Study of Coating Systems Suitable for Maintenance
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Prostudujte problematiku koroze.
2. Prostudujte problematiku předúpravy povrchu před aplikací nátěru.
3. Prostudujte problematiku organických povlaků.
4. Navrhněte metodiku experimentálních prací.
5. Proveďte experimentální práce a jejich vyhodnocení.
6. Zpracujte technickou zprávu.


Seznam doporučené odborné literatury:

MOHYLA, Miroslav. *Technologie povrchových úprav kovů*. 2. vyd. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 2000, 150 s. ISBN 80-7078-953-0.
PODJUKLOVÁ, Jitka. *Speciální technologie povrchových úprav I*. Dot. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 1997, 71 s. ISBN 80-7078-235-8.
ČSN EN ISO 12944: *Nátěrové hmoty - Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy*. Praha: Český normalizační institut, 1998, 1999, 2008.

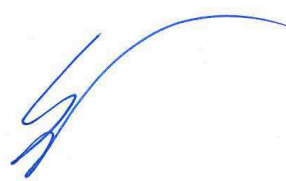
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. René Siostrzonek, Ph.D.**

Datum zadání: 11.12.2015
Datum odevzdání: 15.05.2017


Ing. Lucie Krejčí, Ph.D.
vedoucí katedry




doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 15. 05. 2017

.....
Kovačič

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : . 15.05.2017

podpis.....

Jméno a příjmení autora práce:

Jakub Kovačik

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Družební 3, Olomouc 779 00

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

KOVAČIK, J. *Studium nátěrových systémů vhodných pro údržbu: Bakalářská práce.* Ostrava: VŠB-Technická universita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2016 136s. Vedoucí práce: Siostrzonek, R.

Bakalářská práce se zabývá studiem nátěrových systémů vhodných pro údržbu a volbou vhodného nátěrového povlaku na základní materiál ve strojírenském provozu. V úvodu pojednává o vlastnostech a přípravě povrchu materiálu před aplikací nátěrů na zkušební vzorky. Značná část je věnována vlivu prostředí, které působí na základní materiál a aplikaci nátěrových systémů na zkorodované vzorky. Návrh metodiky experimentálních prací a výsledky provedených experimentálních zkoušek jsou zaznamenány v tabulkách a fotodokumentaci.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

KOVAČIK, J. *The Study of Coating Systems Suitable for Maintenance: Bachelor thesis.* Ostrava: VŠB-Technical University of Ostrava, Faculty of mechanical engineering, Department of Machine Parts and Mechanisms, 2016 136s. Thesis head: Siostrzonek, R.

The bachelor thesis deals with the study coating-systems suitable for maintenance, the choice appropriate indicated coating on base material in the current engineering operation. The introduction discusses properties and surface preparation material before applying coatings on the test specimens. A significant part is devoted to the influence of environment which acting on the basic materials and applications coasting systems on corroded samples. Suggested methods of experimental work and the results of the experiments are recorded in tables and documentation.

Obsah

Úvod:.....	9
2. Protikoroziční ochrana ocelových konstrukcí.....	10
3. Údržba nátěrových systémů	12
4. Koroze	13
4.1 Chemická koroze	13
4.2 Elektrochemická koroze	14
4.3 Koroze v atmosféře	14
4.3.1 Korozní úbytky pro ocel	16
4.4 Koroze v kapalinách	17
4.5 Koroze v plynech	18
4.6 Formy koroze	18
5. Příprava povrchu materiálu před aplikací nátěrů	21
5.1 Kartáčování	21
5.2 Odmašťování	22
5.3 Otryskávání	22
5.3.1 Stupeň čistoty oceli dle normy ČSN EN ISO 8501 – 1, 2.....	23
5.3.2 Drsnost povrchu	24
6. Organické povlaky	25
6.1 Složení nátěrových hmot	25
6.2 Nátěrový systém	27
6.3 Nanášení nátěrových hmot.....	27
7. Cíl bakalářské práce	31
8. Návrh metodiky experimentálních prací.....	32
9. Popis vstupního materiálu	33
9.1 Charakteristika vstupního materiálu.....	33
9.2 Charakteristika nátěrových hmot.....	34
10. Příprava povrchu před aplikací nátěrového systému.....	36
10.1 Odmašťování	36
10.2 Otryskávání	37
10.3 Uměle zkorodovaný povrch	39
10.4 Měření drsnosti povrchu materiálu dle normy ČSN EN ISO 4287.....	41
10.5 Výsledky měření drsnosti podkladového materiálu dle normy ČSN EN ISO 4287	42
10.6 Hodnocení zaprášení povrchu dle normy ČSN EN ISO 8502-3.....	44
10.7 Hodnocení profilu povrchu otryskané oceli komparátorem dle ČSN EN ISO 8503 – 2...	45
10.8 Měření povrchového napětí podkladového materiálu pomocí testovacích inkoustů.....	46
10.9 Extrakce rozpustných nečistot pro analýzu – Breslova metoda dle ČSN EN ISO 8502-6	47

10.9.1	Provozní metoda pro konduktometrické stanovení solí rozpustných ve vodě dle ČSN EN ISO 8502-9	48
10.9.2	Výsledky měření rozpustných nečistot Breslovou metodou dle ČSN EN ISO 8502-6	50
10.9.3	Výsledky provozní metody pro konduktometrické stanovení solí rozpustných ve vodě dle ČSN EN ISO 8502-9	51
11.	Aplikace nátěrových systémů	52
11.1	Stanovení tloušťky mokrého a suchého nátěrového filmu dle ČSN EN ISO 2808.....	56
11.2	Výsledky měření tloušťky základního nátěru	57
11.3	Výsledky měření tloušťek nátěrového systému (základní + vrchní polyuretanový nátěr)..	60
12.	Měření přilnavosti nátěrového systému	62
12.1	Odtrhová zkouška přilnavosti dle normy ČSN EN ISO 16276-1.....	62
12.2	Mřížková zkouška přilnavosti dle normy ČSN EN ISO 16276-2	63
12.3	Výsledky odtrhové zkoušky přilnavosti dle normy ČSN EN ISO 16276-1 a mřížkové zkoušky dle ČSN EN ISO 16276-2 pro základní nátěr	64
12.4	Výsledky odtrhové zkoušky přilnavosti dle normy ČSN EN ISO 16276-1 a mřížkové zkoušky dle ČSN EN ISO 16276-2 nátěrového systému (základní + vrchní polyuretanový nátěr)	67
13.	Korozní zkouška v umělé atmosféře – zkouška solnou mlhou dle ČSN EN ISO 9227	70
13.1	Hodnocení nátěrových systémů po korozní zkoušce v solné mlze podle normy ČSN EN ISO 4628-2,3	72
13.2	Výsledky měření tloušťky suchého nátěrového filmu po exponování vzorku v korozní komoře	73
13.3	Výsledky měření přilnavosti nátěrového systému po korozní zkoušce	75
14.	Vyhodnocení zkoušek	80
14.1	Vyhodnocení měření tloušťky nátěrového filmu (ČSN EN ISO 2808).....	80
14.2	Vyhodnocení odtrhové zkoušky dle normy ČSN EN ISO 16276-1	81
14.3	Vyhodnocení mřížkové zkoušky dle normy ČSN EN ISO 16276-2	82
15.	Závěr	83

Seznam použitých značek a symbolů:

Zkratka	Popis
ČSN	Česká státní norma
EN	Evropská norma
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
mm	Milimetr - délková míra
Rm	Mez pevnosti [MPa]
Re	Mez kluzu [MPa]
A ₅	Tažnost [%]
C	Uhlík
Mn	Mangan
Si	Křemík
P	Fosfor
S	Síra
V	Vanad
Al	Hliník
Ti	Titan
Nb	Niob
pH	Stupnice kyselosti a zásaditosti
A/B	Adhézní poškození mezi podkladem a první vrstvou [-]
-/Y	Adhézní poškození mezi vrchní vrstvou a lepidlem [-]
OD	Odmaštěný povrch materiálu
OT	Otryskaný povrch materiálu
V	Povrch materiálu vytvořený korozí čisté vody
S	Povrch materiálu vytvořený korozí solného roztoku

Úvod:

Koroze je nejrozšířenější problém napadení kovů a jejich slitin. Koroze napadá všechny materiály, které jsou v kontaktu s atmosférou. Materiál, který je napadený korozí, se projevuje změnou vlastností, funkčností a vzhledu. Ztráty způsobené korozí se pohybují řádově v miliardách korun. Z těchto důvodů se čím dál častěji zabýváme ochranou materiálů nejrůznějšími protikorozními prostředky.

Problematika povrchových úprav u nových ocelových konstrukcí je velmi důkladně popsána a podložena normami. Oblast obnovy povrchových úprav u údržby je specifická a vyžaduje samostatný přístup k návrhu vhodné předúpravy povrchu, návrhu vhodného nátěrového systému, zejména základního nátěru. Bakalářská práce se zabývá právě oblastí volby základního nátěru, kdy byly ověřovány vlastnosti základního nátěru, u kterého výrobce doporučuje aplikaci na rezavé nebo rzi znečištěné povrchy materiálu.

V bakalářské práci se zabývám studiem nátěrové hmoty nanesené na různě předupravené povrchy materiálu. Jedná se o základní nátěr doporučený pro aplikaci na rezavé nebo rzi znečištěné ocelové povrchy a tudíž z pohledu výrobce vhodný pro oblast údržby (protikorozní ochrana v údržbě).

Cílem této práce je experimentálně zjistit zda nátěrový systém je vhodný na zkorodovaný povrch.

2. Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí

Protikorozní ochrana kovů je podstatnou záležitostí ke správné životnosti materiálu. Mezi nejvíce používané protikorozní ochrany se využívají nátěry. Zejména při opravách špatně přístupných nebo rozměrných kovových součástí, jako jsou například ocelové konstrukce nebo stavební mosty. Proto se hledají nátěrové hmoty, které svými vlastnostmi jsou vhodné pro aplikaci na povrchu, u nichž nelze provést důkladnou přípravu povrchu. [2]

Koroze kovů představuje i v současnosti stále velký problém. Ne všechny kovové části a předměty lze bez problému vyměnit. Obzvláště opravy některých špatně přístupných nebo rozměrných kovových součástí, například stavebních nebo mostních konstrukcí, jsou značně nákladné a ne vždy je lze bez obtíží technicky provést. Ve většině případů je mnohem výhodnější provádět preventivní opatření pro ochranu před vlivy prostředí. Dnes již existuje mnoho způsobů a technologií, jimiž můžeme kovové materiály chránit. Možná, aniž si to dostatečně uvědomujeme, takováto ochrana je aplikována na většinu předmětů v našem okolí. Nejběžnějšími jsou mezi nimi ochranné nátěry. Nátěrové systémy představují jen jednu z možností ochrany kovových předmětů před korozí. Jejich výhodou je široká oblast použití a snadná aplikace, která z nich činí, spolu s jejich cenou, vhodné řešení tam, kde nelze použít jiné metody ochrany. [4]

Vlastnosti samotné ochranné vrstvy nátěru však neochrání povrch materiálů před všemi možnými účinky koroze v odlišných prostředích. Pro vylepšení ochranných účinků jsou do nátěrů přidávány další pomocné příměsi, jako například inhibitory. Ty reagují tím způsobem, že mění elektrochemické poměry v korozním prostředí tak, aby postup koroze zpomalily. Nátěrový systém se poškozuje, proto je nutné provádět kontroly proškoleným personálem. [8]

Nové konstrukce:

U nových konstrukcí se setkáváme s nízkolegovanými oceli stupně zarezavění A, B a C podle normy ČSN EN ISO 8501-1. Možnosti přípravy povrchu jsou popsány v kapitole č. 5. Pokud se nechráněná ocelová konstrukce přepravuje, dočasně skladuje nebo montuje v nechráněném stavu, objeví se koroze v důsledku působení kontaminujících látek obsažených ve vzduchu. Z tohoto důvodu se musí nová ocelová konstrukce opatřit nátěrovým systémem. Tloušťka suchého nátěru by měla odpovídat agresivitě prostředí, ve kterém se ocelová konstrukce nachází a její požadované životnosti. [4]

3. Údržba nátěrových systémů

Pro údržbu dříve natřených povrchů se musí nejdříve vhodnými metodami zkontrolovat stav stávajících nátěrů a povrchů a stanovit, zda se má provést částečná nebo celková obnova nátěru. Tuto kontrolu vždy provádí osoba, která má příslušnou kvalifikaci k dané kontrole a určí stupeň přípravy povrchu a typ ochranného nátěrového systému, který je třeba použít pro danou ocelovou konstrukci. Norma číslo ČSN EN ISO 12944-5 doporučuje konzultovat použití nátěrů na ocelovou konstrukci s výrobcem. [13]

Životnost nátěrových systémů je ovlivněna několika faktory:

- typem nátěrového systému
- konstrukčním řešením
- stavem podkladu před jeho přípravou
- stupněm přípravy povrchu
- kvalitou práce při přípravě povrchu
- stavem jakýchkoliv spojení, hran a svarů před přípravou povrchu
- podmínkách při nanášení povlaku
- podmínkách expozice po nanesení povlaku[13]

Životnost existujícího nátěru může být vyhodnocena podle normy ČSN EN ISO 4628 - 1, 2, 3, 4, 5, 6. *Hodnocení degradace nátěrů. Klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity jednotlivých změn vzhledu.* [21]

- ČSN EN ISO 4628 - 1 - *Obecný úvod a systém klasifikace* [21]
- ČSN EN ISO 4628 - 2 - *Hodnocení stupně puchýřkování* [21]
- ČSN EN ISO 4628 - 3 - *Hodnocení stupně prorezavění* [21]
- ČSN EN ISO 4628 - 4 - *Hodnocení stupně praskání* [21]
- ČSN EN ISO 4628 - 5 - *Hodnocení stupně odlupování* [21]
- ČSN EN ISO 4628 - 6 - *Vyhodnocení stupně křídování metodou samolepící pásky.* [21]

4. Koroze

Koroze je samovolně probíhající nevratný proces postupného narušování a znehodnocování materiálu chemickými a fyzikálně-chemickými vlivy prostředí. Korozi podléhají téměř všechny materiály, nejen kovy ale i jejich slitiny. Objevuje se také u anorganických (sklo, beton), a organických (plasty, pryž) materiálů. Při korozi materiálu vznikají značné ekonomické ztráty. [2]

Druhy koroze:

- **podle mechanismu vzniku** - chemická, elektrochemická [1]
- **podle prostředí** - v atmosféře, v kapalinách, v plynech [1]
- **formy koroze** - rovnoměrná koroze, nerovnoměrná koroze, důlková koroze, bodová koroze, mezikrystalová koroze [2]

4.1 Chemická koroze

Chemická koroze probíhá v elektricky nevodivém prostředí. Dochází pouze k chemickým reakcím mezi prostředím a materiálem. Typickým příkladem chemické koroze je oxidace, kde se na povrchu kovu objeví vrstva oxidů. Pokud je vrstva oxidů pórovitá, nebo materiál z povrchu lehce odpadá, může reakce mezi kovem a prostředím vést až k rozrušení materiálu. Jestliže oxidační vrstva je nepropustná, chemická reakce se může zpomalit nebo zastavit. [1]

V prostředí mohou být:

- **Oxidační plyny** - jedná se o kyslík, oxid uhličitý, oxid siřičitý. Hlavním znakem je vznik vrstvy korozních produktů na povrchu materiálu. Průběh koroze je závislý na vlastnostech vrstvy a fázových rozhraní (kov - oxidická vrstva – plyn). Za vyšších teplot se projevuje korozní napadení, většinou se jedná o okuje na oceli válcované za tepla. [2]
- **Redukční plyny** - plyn, který difunduje do materiálu a na povrchu kovu tak nevznikají žádné korozní produkty. Působením vodíku, který v atomární podobě difunduje do oceli, tam se hromadí v dutinách a na fázových rozhraních snižuje mechanické vlastnosti oceli. [2]

- **Elektricky nevodivé roztoky** - nejčastěji se jedná o organické roztoky, např. pohonné hmoty, motorové oleje.[2]

4.2 Elektrochemická koroze

Elektrochemická koroze probíhá v elektricky vodivém prostředí, ve kterém jsou přítomny ionty vzniklé disociací prostředí. V elektrochemickém procesu koroze musí dojít k přenosu elektrického náboje. Elektrochemická koroze je charakterizována korozním dějem v elektrolytu za vzniku galvanického článku. [1]

4.3 Koroze v atmosféře

Atmosférická koroze, jedná se o elektrochemický děj v tenké vrstvě elektrolytu a je nejrozšířenějším korozním prostředím. Její působení závisí především na obsahu vlhkosti a agresivních plynných a tuhých rozpustných nečistot ve vzduchu. O průběhu koroze v atmosféře rozhoduje především přítomnost vody, která na povrchu materiálu mimo jiné kondenzuje ze vzdušné vlhkosti. Podle tloušťky zkondenzované vrstvy vody se rozlišuje atmosféra suchá ($10^{-6} - 10^{-5}$ mm), při které nevzniká kondenzační vrstva. Při 100% vlhkosti vzduchu vzniká atmosféra vlhká ($10^{-5} - 10^{-3}$ mm) a atmosféra trvale vlhká ($10^{-3} - 10^{-1}$ mm). Ostatními látkami, které ovlivňují agresivitu jsou plyny a látky obsažené v atmosféře. Jedná se o kyslík (O_2), oxidy uhlíku (CO, CO_2), oxidy síry (SO_2 , SO_3), oxidy dusíku (N_2O , NO, NO_2), amoniak (NH_3), sirovodík (H_2S) a sloučeniny chlóru (NaCl, HCl). [2]

Klasifikace atmosféry podle agresivity.

Norma ČSN EN ISO 9223 rozděluje atmosféry podle korozní agresivity do pěti stupňů agresivity:

- C1 – velmi nízká. Atmosféry uzavřených, klimatizovaných místností, v nichž nedochází ke kondenzaci vody,
- C2 – nízká. Vztahuje se na prostory, v nichž dochází k občasné kondenzaci vody. Vlhkost je převážně pod kritickou hranicí,
- C3 – střední. Odpovídá suchým klimatům. Dochází ke znečištění atmosféry,
- C4 – vysoká. Odpovídá vlhkým oblastem za působení atmosférických nečistot průmyslových měst, přístavů,
- C5 – velmi vysoká,
- Cx – extrémní. Odpovídá prostředím s extrémní vlhkostí nebo s velmi vysokým průmyslovým znečištěním. [4,5]

Tabulka 1 Kvalitativní popis prostředí atmosféry dle ČSN EN ISO 9223 [4]

Stupeň korozní agresivity	Korozní agresivita	Vnitřní prostředí příklady vnitřního prostředí	Vnější prostředí příklady vnějšího prostředí
C1	velmi nízká	Vytápěné prostory s nízkou relativní vlhkostí a zanedbatelným znečištěním, např. kanceláře, školy, muzea.	Suché nebo studené klimatické oblasti s velmi nízkým znečištěním a dobou ovlhčení, např. některé pouště, střední Antarktida.
C2	nízká	Nevytápěné prostory s proměnlivou teplotou a relativní vlhkostí. Nízká četnost výskytu kondenzace a nízké znečištění, např. sklady, sportovní haly.	Mírná klimatická oblast, atmosféry s nízkým znečištěním ($\text{SO}_2 < 12 \text{ mg/m}^3$), např. venkovské oblasti, malá města. Suché nebo studené klimatické oblasti s nízkým znečištěním, např. pouště, subarktické oblasti
C3	střední	Prostory se střední četností výskytu kondenzace a se středním znečištěním z výrobních procesů, např. výrobní potravin, prádelny, pivovary, mlékárny.	Mírná klimatická oblast se středním znečištěním ($\text{SO}_2 : 12 \text{ až } 40 \text{ mg/m}^3$) nebo malým vlivem chloridů, např. městské oblasti, přímořské oblasti s nízkým spadem chloridů. Tropické oblasti s nízkým znečištěním.
C4	vysoká	Prostory s vysokou četností výskytu kondenzací a vysokým znečištěním z výrobních procesů, např. průmyslové výrobní provozy, plavecké bazény.	Mírná klimatická oblast s vysokým znečištěním ($\text{SO}_2 : 40 \text{ mg/m}^3 \text{ až } 80 \text{ mg/m}^3$) nebo značným vlivem chloridů, např. znečištěné městské oblasti, přímořské oblasti mimo zóny s postřikem slanou vodou, silný vliv solí rozmrazovacích prostředků. Tropické oblasti se středním znečištěním
C5 – I	velmi vysoká (průmyslová)	Budovy nebo prostředí s převážně trvalou kondenzací a s vysokým znečištěním ovzduší, např. důlní prostory, podzemní výrobní prostory.	Mírná klimatická oblast s velmi vysokým znečištěním např. průmyslové prostředí s vysokou vlhkostí a agresivní atmosférou.
C5 – M	velmi vysoká (přímorská)	Budovy nebo prostředí s téměř trvalým výskytem kondenzací nebo s vysokým znečištěním z výrobních procesů, např. neprovětrávané přístřešky v tropických vlhkých oblastech.	Mírná klimatická oblast s vysokým znečištěním a se silným vlivem chloridů, např. přímořské oblasti, zóny s postřikem slanou vodou. Tropické přímořské oblasti se silným vlivem chloridů .
CX	extrémní	Prostory s téměř neustálou kondenzací nebo extrémní vlhkostí a velkým znečištěním – nevětrané přístřešky ve vlhkých tropech s pronikáním venkovního znečištění včetně chloridů.	Subtropické a tropické klim. pásmo, atm. prostředí s velmi vysokým znečištěním SO_2 a silným vlivem chloridů – extrémní průmyslové oblasti .

4.3.1 Korozní úbytky pro ocel

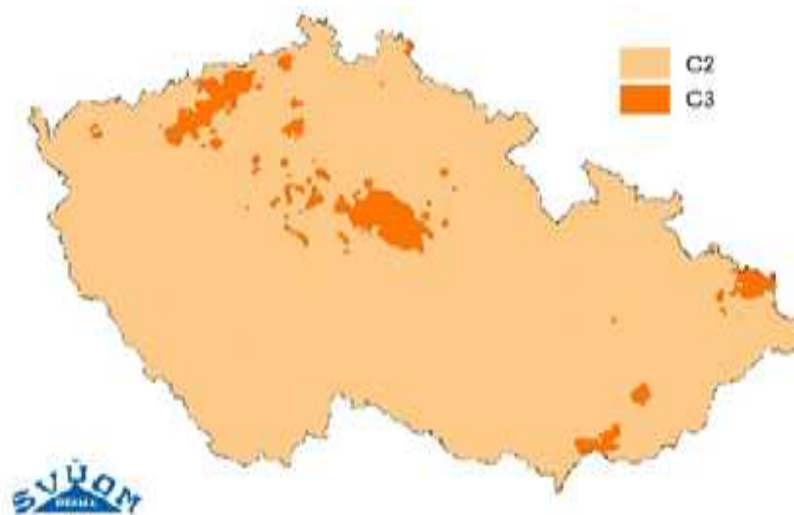
Pro hodnocení průběhu korozního děje se používají jednotky:

- **Korozní proud** – mA.cm^{-2}
- **Rychlost penetrace** – mm.rok^{-1} nebo $\mu\text{m.rok}^{-1}$
- **Rychlost korozního úbytku** – $\text{g.m}^{-2}.\text{den}^{-1}$ nebo mm.rok^{-1} [2]

Norma ČSN EN ISO 9224 stanovuje směrnou hodnotu průměrné korozní rychlosti za rok v závislosti na stupni korozní agresivity. Na území České republiky se stanovují korozní agresivity pro každý materiál.

Tabulka 2 Průměrná korozní rychlost uhlíkové oceli [2]

Stupeň	Průměrná korozní rychlost r_{av} [$\mu\text{m.rok}^{-1}$]	
	prvních 10 let	Další roky
C 1	$r_{av} \leq 0,5$	$r_{av} \leq 0,1$
C 2	$0,5 < r_{av} \leq 5,0$	$0,1 < r_{av} \leq 1,5$
C 3	$5,0 < r_{av} \leq 12,0$	$1,5 < r_{av} \leq 6,0$
C 4	$12,0 < r_{av} \leq 30,0$	$6,0 < r_{av} \leq 20,0$
C 5	$30,0 < r_{av} \leq 100$	$20,0 < r_{av} \leq 90$



Obrázek 1 Stupeň agresivity prostředí pro ocel [2]

4.4 Koroze v kapalinách

Koroze v kapalinách je nejčastějším případem, kde probíhá elektrochemický děj. Je způsobována znečištěním vody agresivními látkami ve formě kapalné, plynné a tuhé. Rychlost koroze v kapalinách je ovlivněna zejména obsahem kyslíku. Intenzitu koroze ovlivňují ve vodě rozpuštěné různé chemické látky (kyselé, zásadité). Na průběh koroze a množství rozpuštěného kyslíku ve vodě má vliv tvrdost vody, pH, proudění a teplota.[2]

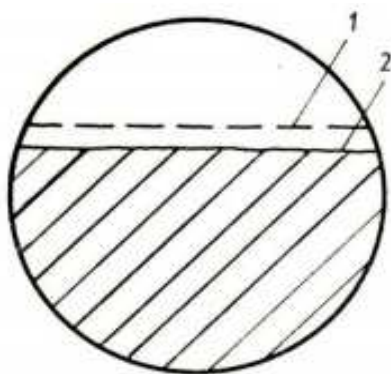
4.5 Koroze v plynech

Jelikož jsou plyny v nevodivém prostředí, jedná se o děje chemické, které zapříčiňují chemické sloučeniny při působení plynů na kov. Za vysokých teplot a tlaků plynného prostředí vznikají nejhorší případy koroze v plynech.[2]

4.6 Formy koroze

Koroze rovnoměrná

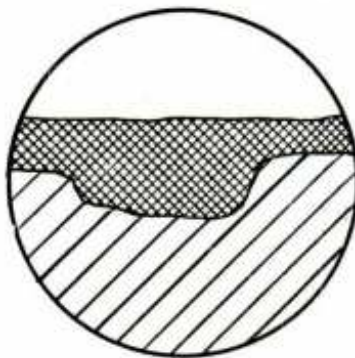
Rovnoměrné korozní napadení je jedním z nejběžnějších typů koroze kovových materiálů a nastává při vzájemné reakci kovu s prostředím a při vzniku rozpustných korozních produktů. Na povrchu materiálu se celkové napadení koroze projevuje působením korozní rychlosti, která je ve styku s korozním prostředím. Jestliže v korozním systému existují heterogenity (na straně prostředí či materiálu), může koroze probíhat nerovnoměrně. (Obrázek 2) [7]



Obrázek 2 Rovnoměrná koroze (1 - původní povrch; 2 - povrch po korozi) [8]

Koroze nerovnoměrná

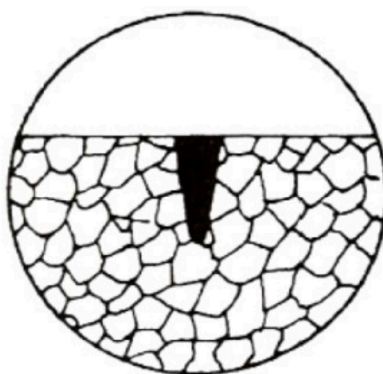
Nerovnoměrná koroze vzniká při nestejnoměrném korozním napadení povrchu kovu. Hlavní příčinou mohou být místní změny složení materiálu, rozdílné makroskopické vlastnosti a teploty korozního prostředí, různé rychlosti proudění a transport korozních produktů na různá místa povrchu materiálu. (Obrázek 3) [2]



Obrázek 3 Nerovnoměrná koroze [8]

Koroze důlková

Zvýšení aktivity korozních zplodin nebo kovového povrchu se projeví důlkovým napadením, které postihuje sice jen malou část povrchu, ale proniká do velké hloubky kovu. Důlkové napadení koroze je ovlivněno nestejnorodostí povrchu kovu nebo jeho ochranné vrstvy. Intenzita rozpouštění kovu v důlku dosahuje značných rychlostí. (Obrázek 4) [7]



Obrázek 4 Důlková koroze [7]

Koroze bodová

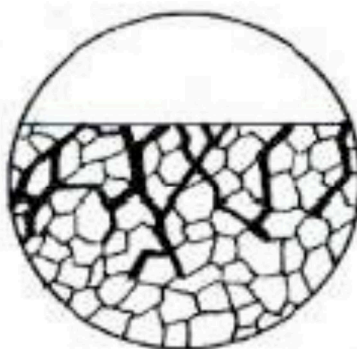
Bodová koroze vzniká nejčastěji lokálním porušením pasivní vrstvy, tzn. vytváří tenké kompaktní vrstvy oxidů chránící povrch před dalším korozním napadením. Bodová koroze se vyznačuje malým povrchovým porušením a velkou hloubkou prostupu koroze do materiálu (Obrázek. 5). Typické materiály se schopností pasivace jsou korozi vzdorné oceli, hliník a jeho slitiny. Vzniklé korozní poruchy se nazývají pittingy (z anglického slova pit – jáma). [2,8]



Obrázek 5 Bodová koroze [8]

Koroze mezikrystalová

Mezikrystalová koroze je charakteristická výskytem koroze v oblasti ležící na hranicích zrn materiálu. Kovový materiál korodující mezikrystalově ztrácí mechanickou pevnost, přičemž nemusí docházet k pozorovatelné vzhledové změně. Náchylné na tento typ koroze jsou austenitické oceli, hliníkové a titanové slitiny kovu. (Obrázek 6) [2,8]



Obrázek 6 Mezikrystalová koroze [8]

5. Příprava povrchu materiálu před aplikací nátěrů

Příprava povrchu je základem úspěchu aplikace každého nátěrového systému. Je potřeba odstranit různé nečistoty ze základního materiálu jako jsou mastnoty, zbytky olejů a nátěrů. V oblasti údržby bývá před aplikací nátěru problém s přípravou povrchu materiálu tak, aby byl vhodný pro nanesení nátěrového systému, protože materiál na mnoha místech nelze dokonale očistit. Proto se neustále vyvíjí nové nátěrové systémy, které jsou tolerantní k přípravě povrchu materiálu. [1]

Způsoby přípravy povrchu:

Mechanické úpravy povrchu:

- kartáčování
- omílání
- broušení
- leštění
- otryskávání
- hydrofinišování [1]

Chemické úpravy povrchu:

- odmašťování
- moření
- odrezování
- fosfátování [1]

5.1 Kartáčování

Tato mechanická úprava povrchu se velmi často používá v údržbě jako úprava před vytvářením povlaku nebo i jako konečná úprava. Používá se k odstranění hrubých nečistot, např. rzi, nebo starých nátěrů. K odstranění těchto nečistot se používají kartáče s ocelovými dráty. Pro matovou úpravu se užívá kartáč s jemnými dráty, např. mosaznými. Pro zjemnění upraveného povrchu před leštěním a pro dosažení stejnoměrného vzhledu se používají kartáče s přírodními nebo umělými vlákny a mazané brusnými pastami. Znečištěné kartáče se čistí odmašťováním a mořením. [1]

5.2 Odmašťování

Při odmašťování se povrch materiálu zbavuje mastnoty, olejových nečistot a tuků. Proto se pojmem odmašťování rozumí čištění a mytí. Tato úprava povrchu zajišťuje zvýšení přilnavosti materiálu k různým druhům nátěrových systémů. [1]

Procesy odmašťování dělíme podle použitého prostředku na odmašťování:

- v alkalických roztocích,
- v organických rozpouštědlech,
- elektrolytické odmašťování,
- v neutrálních roztocích,
- emulzní odmašťování,
- opalování,
- vysokotlaké kapalinné odmašťování. [1]

5.3 Otryskávání

Otryskávání je základním způsobem mechanické úpravy povrchu. Princip spočívá ve vrhání tryskacího materiálu velkou rychlostí proti povrchu součásti. Jedná se o způsob mechanického opracování povrchu substrátu, u kterého tryskací nástroj vyvolá při dopadu v jeho povrchových vrstvách kvalitativní přeměny. Vlastnost tryskaného povrchu nám určuje tvrdost, hmotnost, velikost a tvar zrna tryskacího prostředku. Tryskací materiál se volí dle několika základních hledisek, jako jsou druhy otryskávaného materiálu, tloušťka a znečištění povrchu. Po otryskávání se povrch musí očistit od prachu a drti.[1]

Typy otryskávaných materiálů:

- **brusiva** – jedná se o karbid křemíku a umělý korund
- **litinová drť** – není vhodná pro otryskávání nerezavějících ocelí
- **křemičitý písek** – má ostrohranná zrna, používá se pro pneumatische otryskávání do tlaku max. 0,3 MPa, pozor na zdravotní závadnost
- **sekaný drát** – velmi vysoká pevnost a je vhodný pro tryskáče s metacími koly
- **speciální materiály** – sklo, skořápky ořechů, struska, ocelová drť, ocelový granulát [1]

5.3.1 Stupeň čistoty oceli dle normy ČSN EN ISO 8501 – 1, 2

Stupeň čistoty povrchu základního materiálu se určuje dle normy ČSN EN ISO 8501. Tato norma slouží jako prostředek pro vizuální hodnocení stupně zarezavění a stupně přípravy povrchu. [9]

Ruční a mechanizované čištění - St

Příprava povrchu ručním a mechanizovaným čištěním, kde se jedná o škrábání, kartáčování, mechanizované kartáčování a broušení je označováno písmenem „St“. Před ručním a mechanizovaným čištěním musí být odstraněny oleje, nečistoty a tlusté vrstvy rzi. Po procesu se očistí z materiálu ulpělý prach a cizí látky. [10]

St 2 – důkladné ruční a mechanizované čištění

Při prohlídce bez zvětšení se nezjistí přítomnost olejů, mastnot a nečistot včetně nepřilnavých vrstev okují, rzi, nátěrů a cizích látek. [10]

St 3 – velmi důkladné ruční a mechanizované čištění

Odpovídá stupni St2, ale čištění musí být mnohem důkladnější a povrch musí vykazovat kovový odstín daný podkladem. [10]

Otryskávání - Sa

Příprava povrchu otryskáváním je označována písmeny „Sa“. Tlusté vrstvy rzi, oleje, mastnoty a nečistot musí být odstraněny před otryskáváním. Po otryskávání se odstraní ulpělý prach a drť.[10]

Tabulka 3 Hodnocení kvality otryskávaného povrchu dle ČSN EN ISO 8501-1 [10]

Kvalitativní stupeň otryskání	Kvalita tryskaného materiálu (povrchu)
Sa1 Lehké otryskání povrchu	Na povrchu není zjištěna přítomnost olejů, mastnot a jiných nečistot. Dále zde není zjištěna přítomnost okují, rzi, dřívější nátěry a cizí látky.
Sa2 Důkladné otryskání povrchu	Na povrchu není zjištěna přítomnost olejů, mastnot a jiných nečistot. Dále zde není zjištěna přítomnost okují, rzi dřívější nátěry a cizí látky. Všechny zbytky nečistot jsou pevně přilnavé.
Sa21/2 Velmi důkladné otryskání povrchu	Na povrchu není zjištěna přítomnost olejů, mastnot a jiných nečistot. Dále zde není zjištěna přítomnost okují, rzi, dřívější nátěry a cizí látky. Všechny zbylé stopy jsou pouze stíny ve formě skvrn nebo pásů.
Sa3 Vizuálně ocelově čistý povrch	Na povrchu není zjištěna přítomnost olejů, mastnot a jiných nečistot. Dále zde není zjištěna přítomnost okují, rzi, dřívější nátěry a cizí látky. Povrch vykazuje jednotný kovově čistý vzhled.

5.3.2 Drsnost povrchu

Drsnost je souhrn nerovností povrchu s malou vzdáleností, které vznikají při výrobě, jeho povrch ovlivňuje proces aplikace nátěrových systémů na materiál a posuzuje se v příčném nebo podélném směru nerovností. Podle normy ČSN EN ISO 4287 se určují požadavky na drsnost povrchu. [11]

Základní pojmy:

- Ra – průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu
- Rz – maximální výška profilu
- Rq – kořenová průměrná čtvereční odchylka profilu
- Rp – největší výška výstupku profilu
- Rv – největší hloubka prohlubně profilu
- Rsk – šikmost posuzovaného profilu
- Rku – špičatost posuzovaného profilu [11]

6. Organické povlaky

Jedním z nejrozšířenějších způsobů protikorozi ochrany materiálu je aplikace nátěrových systémů, které mají většinou ochranný, nebo estetický účinek. Pro ochranu oceli je nátěrový systém jedním z nejběžnějších a ekonomicky nejvhodnějších způsobů ochrany materiálu před korozi. Základními složkami nátěrových hmot jsou filmotvorné složky (pojiva), těkavé složky (rozpouštědla), pigmenty, plnidla, ředidla, aditiva (sušidla) a další přísady upravující vlastnosti nátěru. Pro nanesení nátěrového systému na povrch materiálu, musí být materiál očištěný od různých okují a mastnot, neboť nečistoty na materiálu zhoršují přilnavost nátěru a mohou být vznikem korozního prostředí. Po nanesení nátěrové hmoty na očištěný povrch, následuje fáze, během níž z vrstvy mechanicky málo soudržné vzniká relativně kompaktní a soudržný film, vykazující měřitelnou soudržnost ve směru rovnoběžném i kolmém k povrchu a měřitelnou přilnavost k povrchu nebo předchozí vrstvě nátěru. Etapa vzniku filmu se nazývá vytvrzování nátěru a dochází k vytvoření filmu působením fyzikální nebo chemické reakce. Ochranné vlastnosti vzniklého filmu závisí na pórovitosti, prostupnosti pro složky korozního prostředí a jeho přilnavosti k podkladu. [1,3]

6.1 Složení nátěrových hmot

Jedná se o organické látky různých druhů, které jsou nanášeny v tekutém nebo těstovitém stavu a vytvoří na předmětu film požadovaných vlastností. [1,3]

Nátěrové hmoty se dělí:

- transparentní – tvoří průhledný nátěrový film
- pigmentované – tvoří neprůhledný film

Nátěrové hmoty se skládají z těchto složek:

- **a) pojiva** – jedná se o netěkavé látky, které mají schopnost vytvořit tenkou souvislou vrstvu a vázat částice pigmentů a plniv v zaschnutém filmu. Pojiva se od sebe odlišují chemickým složením a fyzikálními vlastnostmi. [1]
- **b) rozpouštědla** – slouží k rozpouštění pojiv při výrobě nátěrových hmot a k úpravě jejich konzistence. [1]

- **c) pigmenty** – jedná se o organické nebo anorganické částčky, které jsou součástí pojiva. Poskytují nátěrům krycí schopnost, barevný odstín, tvrdost a zvyšují tepelnou a korozní odolnost. [1]

Rozdělení do tří skupin:

- inhibitorové pigmenty

Ochranný účinek spočívá v pasivaci povrchu železa, které zajistí těžko rozpustné sloučeniny. Používají se při výrobě nátěrových hmot. [1]

- neutrální pigmenty

Používají se při výrobě vrchních nátěrů a ke zlepšení jejich fyzikálních vlastností. [1]

- stimulující pigmenty

Vyznačují se elektrickou vodivostí v elektrickém článku. Jako stimulující pigment je ocel anoda a pigment katoda. Používají se na pigmentaci vrchních nátěrů. V chemických závodech není vhodné volit nátěry pigmentovaného typu nebo nátěry se zinkovou bělobou v agresivním prostředí. Zinková běloba je vhodná na pigmentování nátěrů povrchu materiálu, vystavených slunečnímu záření. [1]

- **d) plnidla** – jsou jemně rozemleté minerální látky (těživec, mastek, křída), které upravují technologické vlastnosti nátěrového povlaku. Zabraňují smrštění filmu po uschnutí. [1]
- **e) aditiva** – jedná se o sušidla, emulgátory, stabilizátory, zvláčňovadla, které slouží jako přísady do nátěrových hmot, obsahující vysychavé oleje. Využívají se při výrobě olejových fermeží a glyptalových nátěrových hmot. Základní složkou jsou kovová mýdla nebo jejich roztoky v organických rozpouštědlech. [1]

6.2 Nátěrový systém

Při výběru vhodného nátěrového systému je důležité určit podmínky, které budou na ocelové konstrukce nebo zařízení působit. Zda budou vystaveny agresivnímu prostředí, vlhkému prostředí, chemickému prostředí, UV záření apod. Například u aplikace nátěrového systému u konstrukcí uložených v zemi je třeba znát pórovitost materiálu, půdní podmínky působící na konstrukci, vlhkost a přítomnost bakterií. Pro různé typy konstrukčních materiálů je třeba zvolit vhodnou přípravu povrchu a odpovídající tloušťku nátěrového systému materiálu. Každý nátěrový systém má určitou životnost, kterou je třeba po jejím uplynutí obnovit první údržbou nátěru, která je stanovena normou ČSN EN ISO 12944-5 (norma pro nové ocelové konstrukce).[12,13]

Životnost nátěrového systému dle normy ČSN EN ISO 12944:

- **Nízká-L** **2 až 5 let**
- **Střední-M** **5 až 15 let**
- **Vysoká-H** **více než 15 let**[13]

V případě údržby, kdy nelze zajistit důkladnou přípravu povrchu materiálu (důkladné očištění povrchu), lze použít nátěrový systém, který je tolerantní k přípravě povrchu materiálu. Z tohoto důvodu se hledají nové nátěrové systémy, jejichž prioritou je snížit náročnost přípravy povrchu, ekonomickou nákladnost a poskytnout materiálu přijatelnou životnost.

6.3 Nanášení nátěrových hmot

Mezi způsoby nanášení nátěrových hmot patří mnoho technologií, které mají své výhody a nevýhody. Jedná se o nanášení štětcem, navalování, namáčení, polévání, pneumatické stříkání, nanášení v elektrickém poli vysokého napětí, elektroforézní nanášení, kataforézní nanášení, apod.[1]

Nanášení štětcem

Jedná se o nejstarší a nejpoužívanější způsob nanášení nátěrové hmoty na materiál. Vyžaduje řemeslnou zručnost natěrače a vhodné odborně udržované štětce, které se vyrábějí v různém provedení a velikostech. Kratší štětiny štětců se používají pro hustší nátěry, naopak pro řidší nanášení nátěrů se používají štětce s delšími štětinami. Výhodou nanášení nátěrů štětcem je velmi dobré rozpracování nátěrové hmoty, jejího rozetření a přilnutí do póru. Díky tomu dosáhneme dokonalé soudržnosti nátěrů s podkladovým materiálem. Při tomto způsobu nanášení nevznikají ztráty nátěrové hmoty, ale je zde značná pracnost pro řemeslníka. Nehodí se pro velkosériovou výrobu a pro tvarově složité předměty. [1]

Nanášení navalováním

Tato metoda je vhodná na nanášení nátěrových hmot na rovinné plochy. Provádí se pomocí navalovacích strojů. Nátěrové hmoty se nanášejí obvykle třemi válci, které jsou vyrobeny ze speciální gumy. Výhodou jsou nízké ztráty při nanášení nátěrové hmoty a možnost dokonalé automatizace.[1]

Nanášení namáčením

U této metody se jedná o velmi jednoduchý princip, při kterém se předmět ponoří do nádrže s nátěrovou hmotou a potom se rovnoměrnou rychlostí vynořuje. Přebytká nátěrová hmota steče a její zbytek vytvoří samotný nátěr. Tloušťka nátěru je závislá od konzistence nátěrové hmoty a od rychlosti vynořování. Používá se pro velkosériové výroby např. pro namáčení disků u automobilových kol.[1]

Nanášení poléváním

Jedná se o obdobnou metodu jako při nanášení namáčením. U této metody není potřeba rozměrné nádrže jako u namáčení. Nevýhodou postupu poléváním je klínovitost nátěru, případné kapky a stékance na hranách. Výrobky jsou zavěšeny na dopravníku, kde se nanášejí na výrobky nátěrová hmota. Při polévání clonou vytéká nátěrová hmota úzkou štěrbinou, která se pohybuje na dopravním pásu.[1]

Nanášení pneumatickým stříkáním

V dnešní době se jedná o nejrozšířenější způsob nanášení vhodný zejména pro rychle schnoucí nátěrové hmoty. Dosahuje se rovnoměrného nástřiku a hladkého povrchu. Stříkání lze dobře mechanizovat a automatizovat. Pneumatické stříkání se provádí působením stříkací pistole na materiál, při čemž je proud nátěrové hmoty strháván proudícím stlačeným vzduchem. Vytvoří se kužel kapek, které se po dopadu na předmět slévají a tvoří souvislý povlak. Stříkání se provádí ve stříkacích kabinách za účelem omezení rozstřiku nátěrové hmoty na co nejmenší prostor a zneškodnění unikání těkavých látek. Nevýhodou je značné rozprašování nátěrové hmoty do vzduchu. [1]

Nanášení v elektrickém poli vysokého napětí

Využívá se zde působení fyzikálních zákonů o vzájemné přitažlivosti částic s opačným elektrickým nábojem. Elektricky nabitě částice nátěrové hmoty putují k opačně polarizovanému povrchu předmětu, kde vytvářejí vrstvu nánosu. Vlivem korónového výboje se ionizují molekuly kyslíku ve vzduchu za vzniku záporných iontů. Záporné ionty nabíjejí částičky nátěrové hmoty rozptýlené ve vzduchu, které jsou přitahovány k uzemněné, kladně nabitě elektrodě, díky které je předmět určený k nanášení. [1]

Elektroforézní nanášení nátěrových hmot

Jedná se o nejprogresivnější metodu v oblasti povrchových úprav. Elektricky vodivý předmět (anoda) se ponoří do lázně s rozředěnou nátěrovou hmotou. Katodou se stává kovová nádrž nebo vložená elektroda z nerezavějící oceli. Působení stejnosměrného proudu se vytvoří mezi elektrodami elektrické pole. Částice záporně nabitě sušiny se pohybují směrem k anodě, kde odevzdávají záporný elektrický náboj. Díky této metodě se dosahuje rovnoměrného povlaku jak na povrchu, tak i v dutinách předmětu. [1]

Vysokotlaké bezvzduchové nanášení (AIRLESS))

Nátěrová hmota se rozprašuje ve speciálních dýzách za působení vysokého tlaku (8 - 16 MPa). Zařízení pro vysokotlaké bezvzduchové nanášení obsahuje vysokotlakou pumpu, pistoli a nádobu na nátěrovou hmotu. Výhodou vysokotlakého bezvzduchového nanášení je spolehlivé nanesení nátěrové hmoty do těsných spar a na ostré hrany. Používá se při nanášení základních a podkladových nátěrů na velké plochy (lodě, ocelové konstrukce, stavební stroje). [1]

7. Cíl bakalářské práce

Oblast údržby nebo obnovy nátěrového systému vyžaduje v mnoha případech specifický přístup ve všech etapách technologického postupu zhotovení nátěru. Pokud jsme v technologii limitování přípravou povrchu, tzn., že nelze dosáhnout kvalitativního stavu povrchu, musíme se zaměřit na návrh nátěrové hmoty, které jsou např. tolerantní k přípravě povrchu. Dnešní portfolio nabízených nátěrových hmot tyto nátěry obsahuje. Většina ale s povrchem nijak aktivně nereaguje. Cílem bakalářské práce je studium vlastností nátěrové hmoty, tolerantní k přípravě povrchu, která ale svým složením aktivně reaguje s materiálem, resp. se vzniklými korozními produkty.

8. Návrh metodiky experimentálních prací

- **Vyhodnocení vstupního materiálu - základní materiál**
 - Měření drsnosti povrchu materiálu dle ČSN EN ISO 4287
- **Vyhodnocení vstupního materiálu - nátěrové hmoty**
- **Příprava povrchu**
 - Návrh příprav povrchu - odmašťování, otryskávání, uměle zkorodovaný povrch
 - Příprava a značení zkušebních vzorků
 - Měření drsnosti povrchu materiálu podle ČSN EN ISO 4287
 - Hodnocení profilu povrchu otryskaného materiálu komparátorem podle normy ČSN EN ISO 8503 - 2
 - Měření povrchového napětí podkladového materiálu pomocí testovacích inkoustů
 - Měření množství solí na povrchu materiálu Breslova metoda podle normy ČSN EN ISO 8502 - 6 a Provozní metoda podle normy ČSN EN ISO 8502 - 9
- **Aplikace nátěru**
 - Technologický postup/parametry
 - Určení mokré (WTF) a suché (DFT) tloušťky nátěru podle normy ČSN EN ISO 4287
- **Přilnavost nátěru**
 - Odtrhová zkouška přilnavosti podle normy ČSN EN ISO 16276-1
 - Mřížková zkouška přilnavosti podle normy ČSN EN ISO 16276-2
- **Korozní zkoušky**
 - Korozní zkouška v umělé atmosféře - zkouška solnou mlhou podle normy ČSN EN ISO 9227
 - Vizuální vyhodnocení nátěrů po korozní zkoušce v solné mlze podle normy ČSN EN ISO 4628
 - Přilnavost nátěru po korozní zkoušce v solné mlze
- Odtrhová zkouška přilnavosti podle normy ČSN EN ISO 16276-1
- Mřížková zkouška přilnavosti podle normy ČSN EN ISO 16276-2

9. Popis vstupního materiálu

9.1 Charakteristika vstupního materiálu

Pro experimentální část bakalářské práce byly použity ocelové vzorky o rozměrech **150 x 100 x 3mm** jakosti S355 dle EN 10149-2. Jedná se o válcovaný plech, který se často využívá pro ocelové konstrukce.



Obrázek 7 Vstupní materiál

Tabulka 4 Mechanické vlastnosti materiálu S355MC

Mechanické vlastnosti materiálu S355 MC	
Mez pevnosti v tahu R_m [MPa]	377
Mez kluzu R_e [MPa]	450
Tažnost A_5 [%]	34,5

Tabulka 5 Chemické složení materiálu S355MC

Chemické složení materiálu S355 MC									
Prvek	C	Mn	Si	P	S	V	Al	Ti	Nb
Množství [%]	0,062	0,931	0,019	0,013	0,008	0,001	0,034	0,002	0,032

Tabulka 6 Výsledky drsnosti povrchu materiálu S355MC

Parametry drsnosti: Vstupní materiál					
Parametry: délka měřeného profilu L =4 mm, filtr profilu $\lambda_c=0,8$					
Měření v podélné m směru	Ra [μm]	Rz [μm]	Měření v příčné m směru	Ra [μm]	Rz[μm]
1.	2,58	14,17	1.	3,20	13,94
2.	1,56	8,95	2.	1,81	9,87
3.	1,41	8,29	3.	1,55	8,88
4.	2,72	16,48	4.	1,23	7,23
5.	1,20	8,35	5.	1,35	7,39
Ø	1,89	11,25	Ø	1,83	9,46

9.2 Charakteristika nátěrových hmot

Základní nátěr na zkorodované plochy

Jedná se o nátěr, který je založený na vodní bázi pro aplikaci na rezavé nebo rzi znečištěné ocelové povrchy. Nátěr je vyvinutý tak, aby při nanášení pronikl rzi materiálu (rez rozpustil) a pronikl až k čistému kovu a zastavil vznik další koroze. Používá se tam, kde je požadována ochrana před korozí a kvalitní příprava zkorodovaného povrchu je před dalším nátěrem obtížně dosažitelná. Doporučené použití pro všechny ocelové, již rezavé povrchy, jako podkladový nátěr. Produkt může být použit tam, kde není možné řádné čištění nebo tryskání povrchu např. (průmyslová údržba, vojenská výzbroj a výstroj, mosty, lodě). [14, 4]

Fyzikální vlastnosti:

Tloušťka nátěrového filmu: 75 – 185 μm

Obsah sušiny 55 – 58 % hmotnostních

Obsah sušiny 40 – 42 % objemových

Hustota: 1,36 – 1,44 kg/l

Obsah VOC: 0,07 kg/l

Teoretická vydatnost 22 m²/litr při tloušťce 25 mikronů [14]

Vrchní nátěr - Dvousložková polyuretanová nátěrová hmota

Jedná se o dvousložkovou, polyuretanovou nátěrovou hmotu, která je vytvrzována alifatickým izokyanátem s dobrou stálostí barevného odstínu a lesku. Obsahuje zinkfosfát a používá se pro ochranu ocelových konstrukcí v korozním prostředí. [15]

Fyzikální vlastnosti:

Tloušťka nátěrového filmu: 100-150 μm

Obsah sušiny [%]: 67 ± 1

Teoretická vydatnost: 6,7 m^2/l

Obsah VOC: 336 g/l

Doba povrchového zaschnutí: 3 hodiny 20 °C

Doba proschnutí: 8 hodin 20 °C

Plně vytvrzen 7. den 20 °C [15]

10. Příprava povrchu před aplikací nátěrového systému

Podkladový materiál byl před aplikací nátěrů upraven několika způsoby: odmašťováním, otryskáváním a uměle vytvořenou korozí, která byla dosažena vodou a 10% solným roztokem.

10.1 Odmašťování

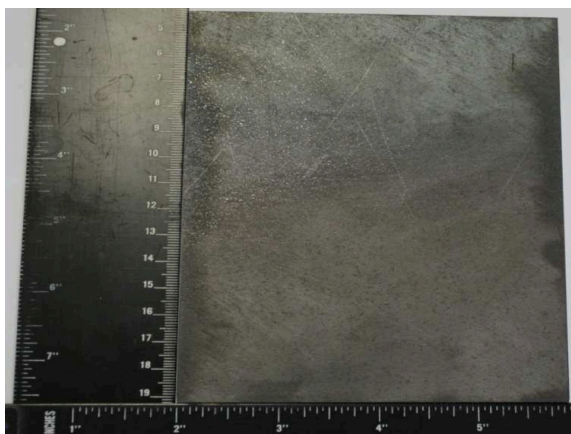
Odmašťování bylo provedeno pomocí ekologického odmašťovadla Simple Green o koncentraci 1:10 = 1 dílek simplu na 10 dl vody. Jedná se o universální průmyslový odmašťovací a čistící přípravek pro práci za studena.

Tabulka 7 Technologické podmínky odmašťování

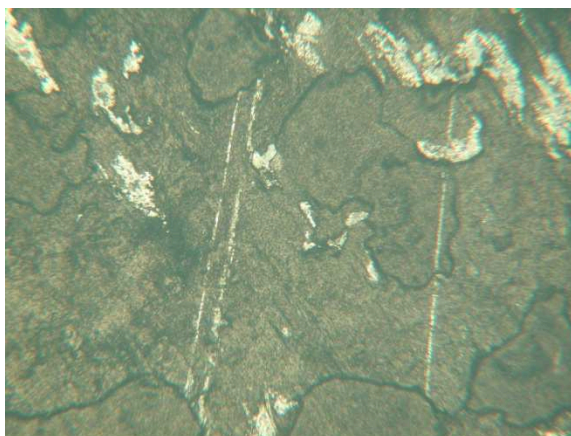
Odmašťovací přípravek	SIMPLE GREEN
Koncentrace	1:10 (SIMPLE GREEN : voda z vodovodního řádu)
pH odmašťovacího roztoku	10,12
Teplota odmašťovacího roztoku	23,1 °C
Doba odmašťování	8 min.
Způsob odmašťování	Ponorem
Oplach vzorku	Oplach studenou vodou z vodovodního řádu (teplota oplachové vody 18 až 23 °C), metoda oplachu: ponorem, doba oplachu: 3 min
Sušení v elektrické peci	100 °C, doba sušení 10 min., elektrická sušící pec typu SN30/4

Naměřené hodnoty pomocí přístroje EUTECH INSTRUMENTS pH 5+:

- pH oplachované vody = 9,49
- pH 100% odmašťovacího přípravku = 10,12
- pH odmašťovacího roztoku = 10,56



Obrázek 8 Odmaštěný povrch materiálu



Obrázek 9 Povrch vzorku po odmaštění, zvětšení 100x



Obrázek 10 Fotodokumentace odmaštěných vzorků

10.2 Otryskávání

Otryskání bylo provedeno na stupeň čistoty povrchu Sa 2^{1/2} podle normy ČSN EN ISO 8501-1. Technologické podmínky otryskávání jsou uvedeny v tabulce 8.

Tabulka 8 Technologické podmínky

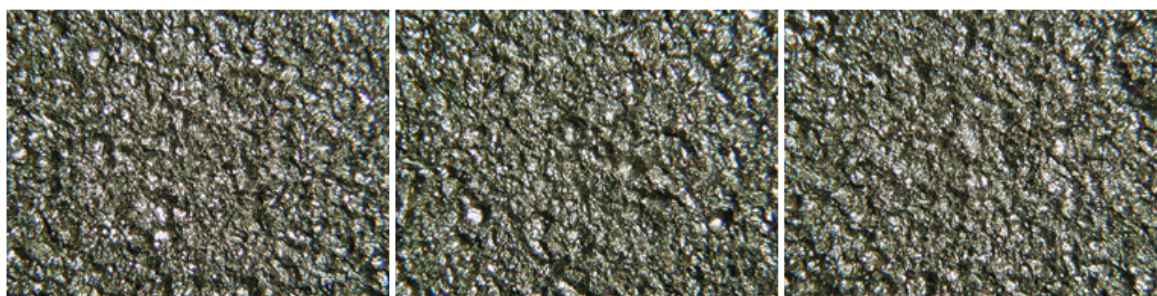
Technologické podmínky při otryskávání	
Tryska	SN159-550P 5/16" (7,9 mm)
Zařízení	tryskáč kabina
Otryskávací prostředek	ocelové ostrohranné abrazivo G1-40
Tlak	7 barů



Obrázek 11 Povrch materiálu po otryskávání, zvětšení 20x



Obrázek 12 Povrch materiálu po otryskávání, zvětšení 20x



Obrázek 13 Povrch materiálu po očištění (ofoukání), zvětšení 20x



Obrázek 14 Fotodokumentace otryskaných vzorků

10.3 Uměle zkorodovaný povrch

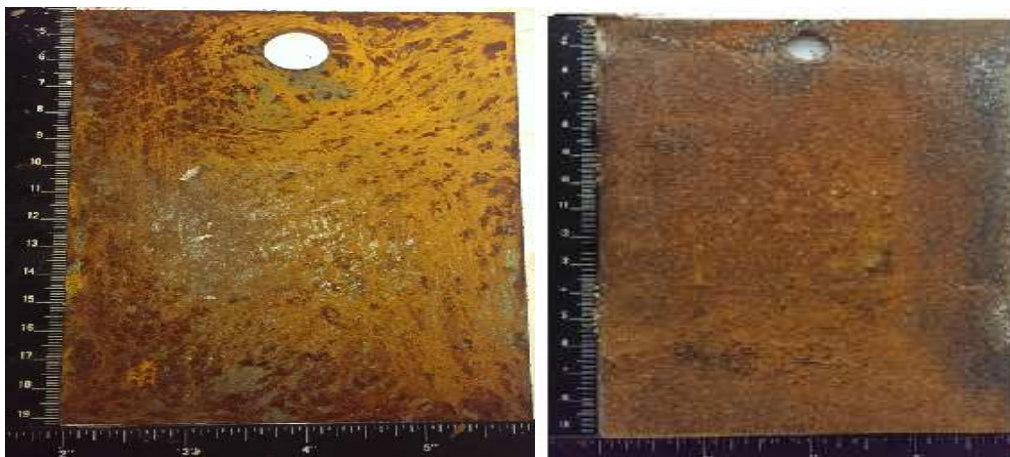
Pro účel vyhodnocení vlastností základní nátěrové hmoty aplikované na zkorodovaný povrch byly vytvořeny dvě sady vzorků:

1.Sada - povrch vzorků byl po dobu dvou měsíců ovlhčován čistou vodou (Obrázek 15).

2.Sada - povrch vzorků byl po dobu tří měsíců ovlhčován 10-ti procentním roztokem soli (Obrázek 16).

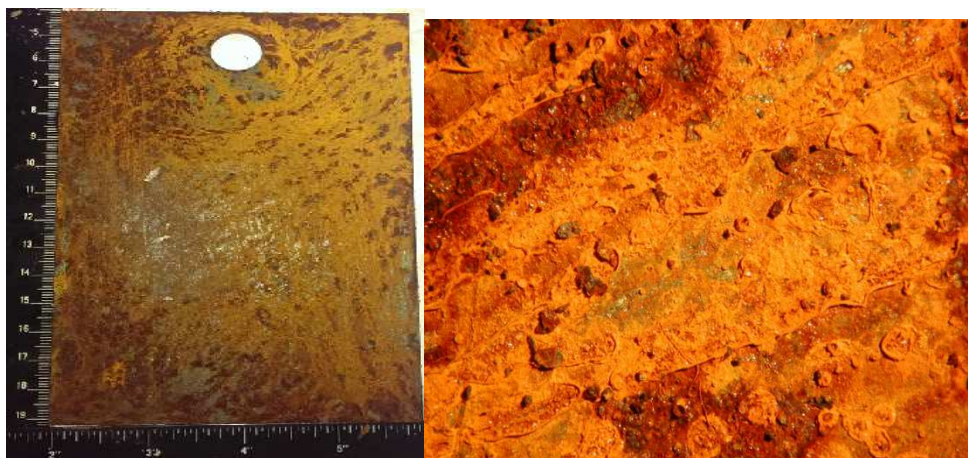


Obrázek 15 Povrch vzorků ovlhčován po dobu dvou měsíců čistou vodou

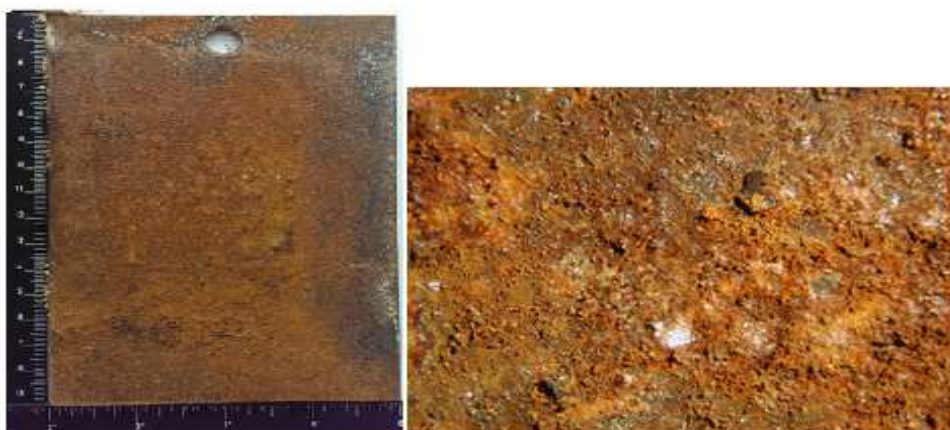


Obrázek 16 Povrch vzorků ovlhčován po dobu tří měsíců 10-ti procentním roztokem soli

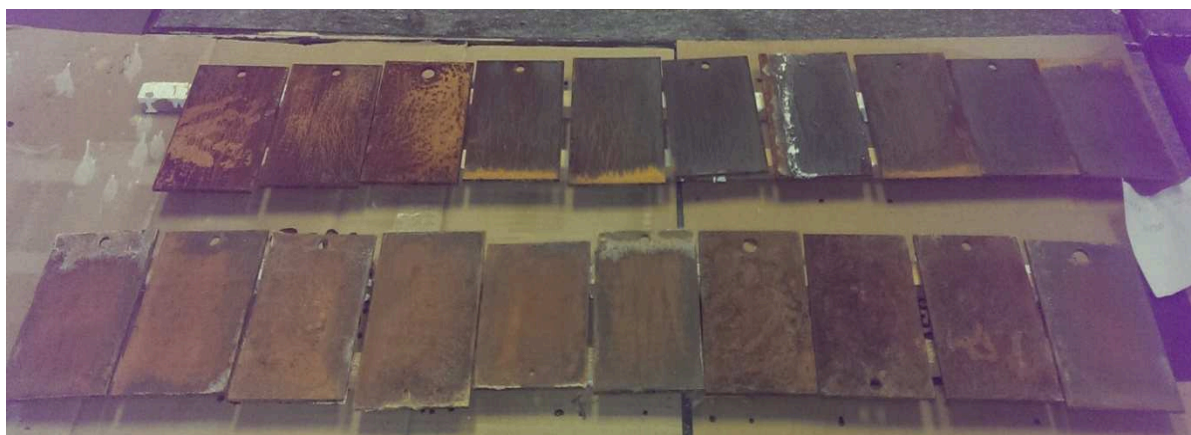
Po dvou měsících ovlhčování byla odebrána část vzorků. Účelem bylo získat vzorečky s rozdílným stupněm zarezavění, viz Obrázek 17 a 18.



Obrázek 17 Povrch vzorku koroze po nanesení čistou vodou, zvětšení 10x



Obrázek 18 Povrch vzorku koroze po nanesení 10% solného roztoku, zvětšení 10x



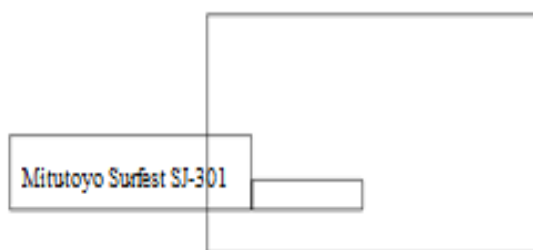
Obrázek 19 Fotodokumentace vzorků koroze voda a koroze 10% roztoku soli

10.4 Měření drsnosti povrchu materiálu dle normy ČSN EN ISO 4287

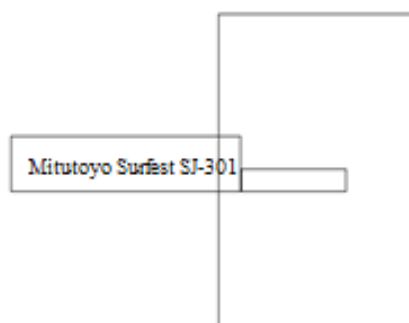
Pro měření drsnosti povrchu materiálu byl použit drsnoměr Mitutoyo Surfes SJ-301 (Obrázek 20). Na přístroji se nastaví parametry pro měření dle měřicího standardu ISO 1997, které jsou zaznamenány v tabulkách. Měření se provádí na několika místech vzorků v podélném a příčném směru. Z naměřených parametrů se vypočítá aritmetický průměr.



Obrázek 20 Drsnoměr Mitutoyo Surfes SJ-301



Obrázek 21 Měření vzorků v podélném směru



Obrázek 22 Měření vzorků v příčném směru

Hlavní parametry drsnosti povrchu

- R_a – průměrná aritmetická úchylka profilu [μm]
- R_z – největší výška profilu [μm]



Obrázek 23 Schéma profilu drsnosti [16]

10.5 Výsledky měření drsnosti podkladového materiálu dle normy ČSN EN ISO 4287

Ze všech naměřených hodnot jednotlivých vzorků byly vypočítány průměrné hodnoty drsnosti povrchu.

Tabulka 9 Naměřené hodnoty drsnosti vstupního materiálu povrchu

Parametry drsnosti: Vstupní materiál					
Parametry: délka měřeného profilu $L = 4 \text{ mm}$, filtr profilu $\lambda c = 0,8$					
Měření v podélném směru	$R_a [\mu\text{m}]$	$R_z [\mu\text{m}]$	Měření v příčném směru	$R_a [\mu\text{m}]$	$R_z [\mu\text{m}]$
1.	2,58	14,17	1.	3,20	13,94
2.	1,56	8,95	2.	1,81	9,87
3.	1,41	8,29	3.	1,55	8,88
4.	2,72	16,48	4.	1,23	7,23
5.	1,20	8,35	5.	1,35	7,39
Ø	1,89	11,25	Ø	1,83	9,46

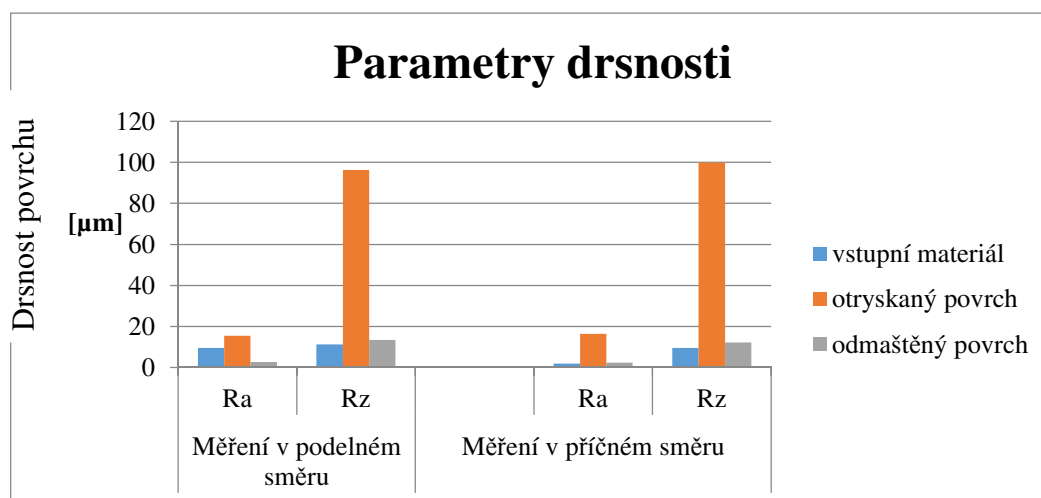
Tabulka 10 Naměřené hodnoty drsnosti otryskaný povrch

Parametry drsnosti: Otryskaný povrch					
Parametry: délka měřeného profilu L =12,5 mm, filtr profilu $\lambda_c=2,5$					
Měření v podélném směru	Ra [μm]	Rz [μm]	Měření v příčném směru	Ra [μm]	Rz [μm]
1.	13,66	81,48	1.	15,20	96,03
2.	17,36	102,80	2.	17,09	105,80
3.	16,13	102,30	3.	17,49	100,40
4.	16,78	107,40	4.	14,40	93,59
5.	13,62	87,43	5.	17,66	103,80
Ø	15,51	96,28	Ø	16,37	99,92

Tabulka 11 Naměřené hodnoty drsnosti odmaštěný povrch

Parametry drsnosti: Odmaštěný povrch					
Parametry: délka měřeného profilu L =4 mm, filtr profilu $\lambda_c=0,8$					
Měření v podélném směru	Ra [μm]	Rz [μm]	Měření v příčném směru	Ra [μm]	Rz [μm]
1.	2,85	13,49	1.	1,34	7,45
2.	2,68	15,05	2.	2,86	14,69
3.	2,98	14,55	3.	2,60	12,31
4.	1,88	9,70	4.	2,57	12,76
5.	2,91	14,45	5.	2,43	13,46
Ø	2,66	13,45	Ø	2,36	12,13

Graf 1 znázorňuje viditelné rozdíly dosažených průměrných hodnot drsnosti jednotlivých příprav povrchu. Největší rozdíly v podélném i příčném směru se projevují na parametru Rz u otryskaného povrchu, kdy otryskáváním docílíme nejen očištění povrchu, ale také požadovaného zdrsnění tzn. vytvoření kotvícího profilu pro dosažení maximální přilnavosti nátěru k podkladovému materiálu.



Graf 1 Porovnání parametrů drsnosti povrchu

10.6 Hodnocení zaprášení povrchu dle normy ČSN EN ISO 8502-3

Uvedená norma popisuje metodu pro stanovení zbytku prachů na očištěném povrchu, připraveném pro natírání. Podstata zkoušky spočívá v nalepení samolepící pásky na povrch materiálu připraveného pro natírání. Páska se zachyceným prachem se sejme, umístí na kontrastní podklad a provede se vizuální vyhodnocení. [17]



Obrázek 24 Obrázková stupnice odpovídajícího množství prachu dle ISO 8502-3 [17]

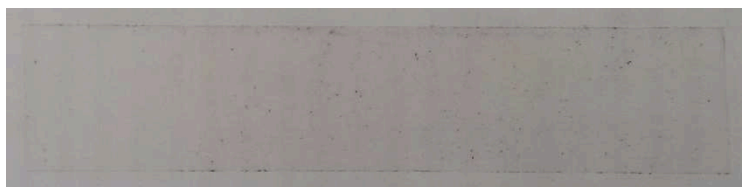
Tabulka 12 Třídy velikosti povrchových částí dle ISO 8502-3 [17]

Třída	Popis prachových částic
0	Částice neviditelná při zvětšení 10x
1	Částice viditelná při zvětšení 10x, ale ne prostým okem (obvykle částice menší než 50 μm v průměru)
2	Částice již viditelná prostým okem (obvykle částice mezi 50 μm a 100 μm v průměru)
3	Částice jasně viditelná prostým okem (částice do 0,5 mm v průměru)
4	Částice mezi 0,5 mm a 2,5 mm v průměru
5	Částice větší než 2,5 mm v průměru

Měření zaprášení povrchu bylo provedeno na otryskaném a odmaštěném povrchu materiálu.

Měřením bylo zjištěno:

- u odmaštěných vzorečků: stupeň 2/2 což znamená, že částice je viditelná prostým okem. (Obrázek 25)
- u otryskaných vzorků stupeň 1/2 což znamená, že částice je viditelná při zvětšení 10x, ale ne prostým okem. (Obrázek 26)



Obrázek 25 Zaprášení povrchu odmaštěného materiálu



Obrázek 26 Zaprášení povrchu otryskaného materiálu

10.7 Hodnocení profilu povrchu otryskané oceli komparátorem dle ČSN EN ISO 8503 – 2

Uvedená norma popisuje vizuální a hmatavý způsob stanovení drsnosti profilů, které byly otryskány ostrohrannými nebo brokovými prostředky. ISO komparátory jsou schopné na místě stanovit profily povrchů před nanesením nátěrových hmot. [18]

Pro zhodnocení povrchu se odstraní prach a úlomky. Vybere se vhodný komparátor G nebo S podle typu abraziva a umístí se vedle plochy hodnoceného povrchu. Postupně se provádí porovnávání hodnoceného povrchu s povrchem čtyř segmentů komparátoru. Na komparátoru se zjistí profil, který je nejbližší shodný s povrchem materiálu a stanoví se jeho stupeň drsnosti. (Tabulka 14). [18]

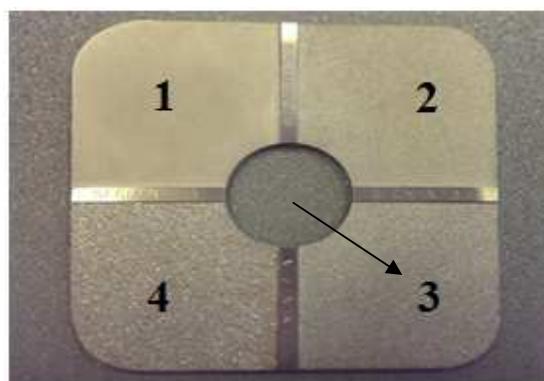
Tabulka 13 Komparátory pro ocel otryskanou ostrohrannými prostředky[18]

Segment	Jmenovitá hodnota v μm	Tolerance v μm
1	25	3
2	60	10
3	100	15
4	150	20

Tabulka 14 Mezní hodnoty stupňů drsnosti [18]

jemný	drsnosti shodné s profilem segmentu 1 a hrubší, ale nedosahující drsnosti segmentu 2
střední	drsnosti shodné s profilem segmentu 2 a hrubší, ale nedosahující drsnosti segmentu 3
hrubý	drsnosti shodné s profilem segmentu 3 a hrubší, ale nedosahující drsnosti segmentu 4

Měření drsnosti povrchu materiálu bylo provedeno na otryskaném materiálu pomocí ISO komparátoru. Výsledkem měření byl povrch s drsností povrchu „hrubý“ což dle normy ČSN ISO 8503-2 znamená, že drsnosti povrchu jsou shodné s profilem segmentu 3 a hrubším, ale nedosahují drsnosti segmentu 4. Na Obrázku 27 je znázorněn výsledek měření ISO komparátorem.



Obrázek 27 ISO komparátor (G)

10.8 Měření povrchového napětí podkladového materiálu pomocí testovacích inkoustů

Testovací inkoust je pomocí štětce nanesen na podkladový materiál. Jestliže linka inkoustu zůstane na povrchu materiálu „nezměněná“ po dobu cca 2 vteřin, tzn., neslije se v kapky, povrch je vhodný pro aplikaci nátěrového systému a musí vykazovat hodnotu povrchového napětí v rozmezí 35 až 40 $\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$. Čím větší hodnota, tím přísnější zkouška. [9, 18]

Výhody testovacích inkoustů:

- rychlé měření s vysokou přesností
- vysoká spolehlivost na drsném povrchu [18]



Obrázek 28 Sada testovacích inkoustů

Měření povrchového napětí pomocí speciálních inkoustů bylo provedeno na otryskaném a odmaštěném vzorku. Výsledkem měření se zjistilo, že povrchy materiálů jsou vhodné k aplikaci nátěrového systému.



Obrázek 29 Měření povrchového napětí speciálním inkoustem na otryskaném povrchu

10.9 Extrakce rozpustných nečistot pro analýzu – Breslova metoda dle ČSN EN ISO 8502-6

Tato norma specifikuje zkoušky pro stanovení čistoty povrchu. Zahrnuje různé metody extrakce pro analýzu rozpustných nečistot přítomných na površích určených pro aplikaci nátěru. Jedná se o jednoduchou, levnou provozní zkoušku s použitím pružných cel ve formě záplat se samolepícím okrajem, které jsou určeny k naplnění rozpouštědlem. [19]

Postup zkoušky:

Pro měření byla použita adhezní cely o velikosti A-1250 viz Tabulka 15. Odstraní se ochranná papírová vrstva a výztuha. Adhezní strana cely se přitiskne ke zkoušenému povrchu, aby v cele zůstalo uzavřeno minimální množství vzduchu. Injekční stříkačka se naplní rozpouštědlem, podle druhu povrchového znečištění. Pro stanovení ve vodě rozpustných solí nebo jiných ve vodě rozpustných nečistot se použije destilovaná nebo deionizovaná voda. Pod úhlem 30° se vsune injekční stříkačka ke zkoušenému povrchu. Rozpouštědlo se vstříkne do adhezní cely, aby bylo zajištěno smočení celého zkoušeného povrchu. Po 90 vteřinách se rozpouštědlo nasaje zpět do stříkačky a přemístí se do vhodné nádoby pro měření vodivosti. Zaznamená se teplota povrchu oceli získaná měřením kontaktního teploměru. [19]

Tabulka 15 Standardní cely [19]

Velikost cely	Plocha cely (mm ²)
A-0155	155 ± 2
A-0310	310 ± 3
A-0625	625 ± 6
A-1250	1250 ± 13
A-2500	2500 ± 25



Obrázek 30 Zařízení pro analýzu nečistot Breslovou metodou

10.9.1 Provozní metoda pro konduktometrické stanovení solí rozpustných ve vodě dle ČSN EN ISO 8502-9

Tato část normy popisuje provozní metodu pro stanovení celkového množství různých solí rozpustných ve vodě na ocelovém povrchu před nebo po přípravě povrchu. Stanoví se nečistoty iontového charakteru, které představují větší část nečistot. [20]

Podstata zkoušky:

Soli na dané ploše ocelového povrchu se rozpustí Breslovou metodou s použitím vody jako rozpouštědla. Změří se hodnota konduktivity takto získaného roztoku. Celková plošná hmotnost soli na povrchu se vypočte podle jednoduché, ale dostatečně přesné rovnice. [20]

Vyjádření výsledků:

Celkové množství solí na povrchu ρ_A se vypočte podle rovnice.

$$\rho = \frac{m}{A} \quad (1)$$

m – množství rozpuštěných solí na části povrchu pokrytého adhezní celou

A – plocha části povrchu pokrytá adhezní celou

V tomto případě je m dáno rovnicí

$$m = c \cdot V \cdot \Delta\gamma \quad (2)$$

c – empirická konstanta přibližně rovna $5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{S}^{-1}$

V – původní objem vody v kádince

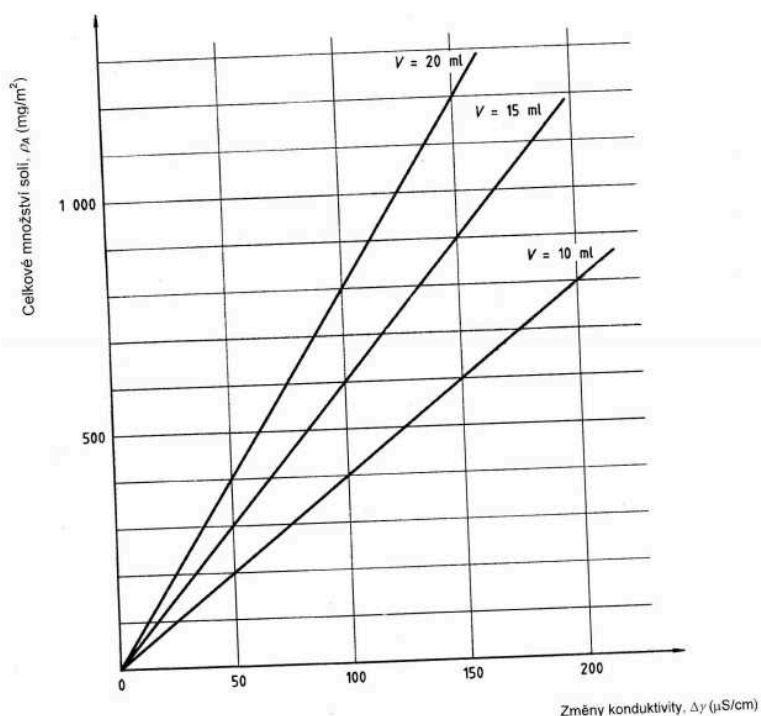
$\Delta\gamma$ – změna vodivosti

Z rovnic vyplývá vztah:

$$\rho_A = \frac{c \cdot V \cdot \Delta\gamma}{A} \quad (3)$$

Rovnice dává hodnotu ρ_A vyjádřené v SI jednotkách kg/m^2 .

Na Obrázku 31 jsou zakresleny tři přímky odpovídající třem různým rovnicím. [20]



Obrázek 31 Celkové množství soli ρ_A na povrchu v závislosti na změnách konduktivity $\Delta\gamma$ [20]

10.9.2 Výsledky měření rozpustných nečistot Breslovou metodou dle ČSN EN ISO 8502-6

Měření rozpustných nečistot Breslovou metodou bylo provedeno na následujících vzorcích uvedených v Tabulce 16.

Podmínky měření:

- teplota: 21,5 °C až 22,2 °C
- relativní vlhkost vzduchu: 23,4%

Tabulka 16 Měření výskytu soli na povrchu materiálu

Koroze rozprašováním 10% roztoku soli	Naměřené hodnoty [μS/m]
max. výskyt koroze na vzorku	1985,7
min. výskyt koroze na vzorku	1553,4
Koroze rozprašováním čisté vody	Naměřené hodnoty [μS/m]
max. výskyt koroze na vzorku	8,0
min. výskyt koroze na vzorku	2,0

10.9.3 Výsledky provozní metody pro konduktometrické stanovení solí rozpustných ve vodě dle ČSN EN ISO 8502-9

Výpočet množství soli na zkorodovaných vzorcích bylo provedeno podle následujících rovnic:

- Koroze 10% roztokem soli:

- max. množství výskytu koroze: $x = \frac{1985,7 \cdot 600}{100} = 11914,2 \text{ mg/m}^2$

- min. množství výskytu koroze: $x = \frac{1553,4 \cdot 600}{100} = 9320,4 \text{ mg/m}^2$

- Koroze čistou vodou

- max. množství výskytu koroze: $x = \frac{8 \cdot 600}{100} = 48 \text{ mg/m}^2$

- min. množství výskytu koroze: $x = \frac{2 \cdot 600}{100} = 12 \text{ mg/m}^2$

11. Aplikace nátěrových systémů

Na všechny připravené vzorky byl štětcem nanesen základní nátěr určený na zkorodované povrchy. Zvolená tloušťka mokré vrstvy nátěru je 182 μm a suchá vrstva nátěru je 75 μm . U otryskaných vzorků bylo nutné provést ofoukání povrchu před aplikací nátěru. Důvodem značné zaprášení povrchu po technologii otryskávání. (Obrázek 33).

Aplikace základního nátěru - nátěr na zkorodované povrchy

Tabulka 17 Technologické parametry aplikace základního nátěru

Metoda aplikace	štětec
Ředění nátěrové hmoty	10% (voda z vodovodního řádu)
Teplota okolí	22,5 °C
Teplota podkladového materiálu	22,5 °C
Relativní vlhkost vzduchu	23,4 %
Teplota rosného bodu	0,7 °C

Tabulka 18 Výsledky měření mokré tloušťky (WFT) a suché tloušťky (DFT) základního nátěru

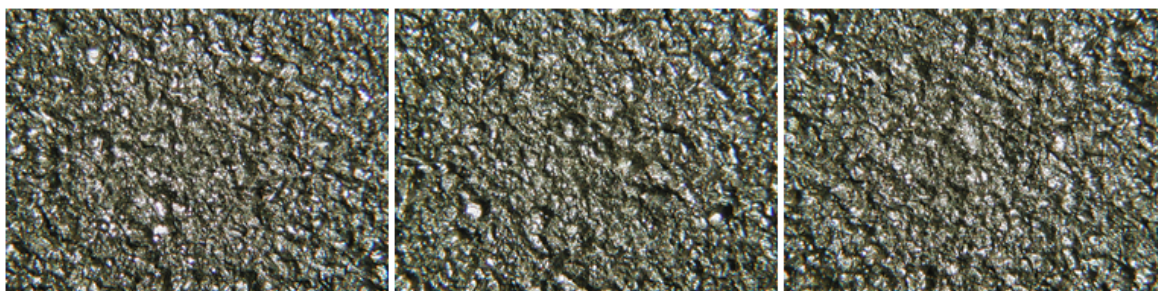
Podkladový materiál	WFT (μm)	DFT (μm)			
		n (-)	DFT (μm)	min. DFT (μm).	max. DFT (μm)
Odmaštěný povrch	150 až 275	10	72,26	33,2	141,9
Otryskaný povrch	175 až 250	10	41,87	19,6	237
Zkorodovaný povrch 10% roztokem soli	200 až 300	10	95,22	18,4	491
Zkorodovaný povrch čistou vodou	200 až 300	10	41,76	17,6	66,7

n – počet měření, DFT – suchá tloušťka nátěrového systému včetně korozního produktu, min. DFT – minimální hodnota suché tloušťky nátěru, max. DFT – maximální hodnota suché tloušťky nátěru

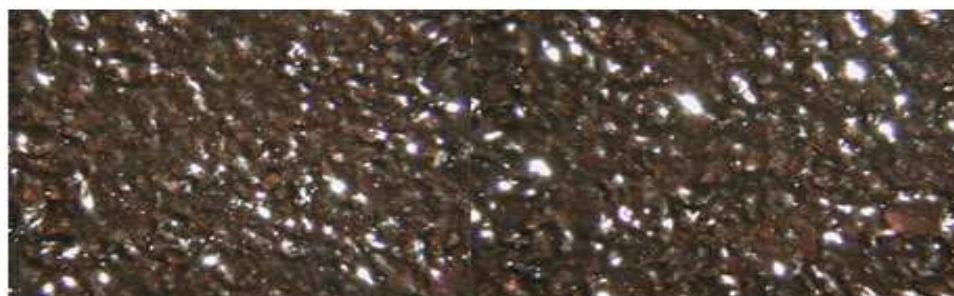
Fotodokumentace z aplikace základního nátěru odmaštěných, otryskaných a zkorodovaných vzorečků



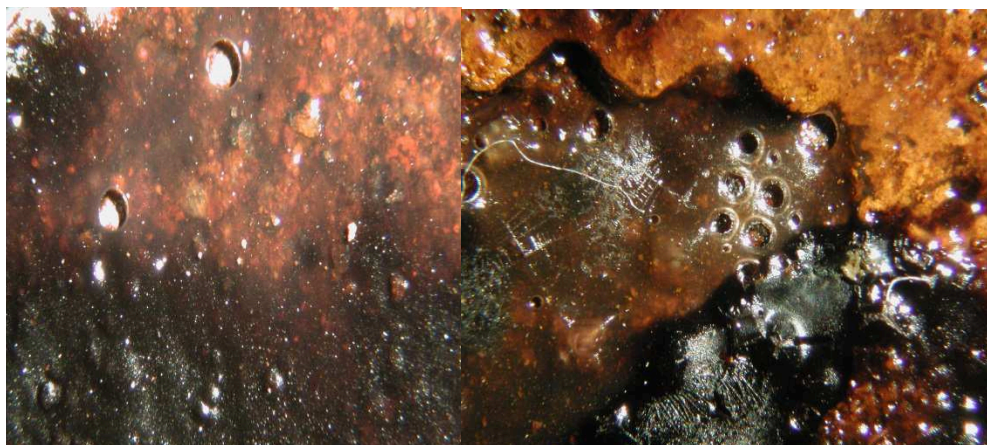
Obrázek 32 Vznik bubliny po natření odmaštěného vzorku, zvětšení 20x



Obrázek 33 Povrch otryskaného materiálu po očištění (ofoukání), zvětšení 20x



Obrázek 34 Otryskaný povrch s vystupujícími vrcholky nerovností, zvětšení 20x



Obrázek 35 Uměle zkorodovaný povrch s bublinami a prostupující rzí, zvětšení 20x

Aplikace vrchního nátěru

Na polovinu všech vzorků byl aplikován běžně používaný vrchní dvousložkový polyuretanový krycí nátěr. Účelem použití vrchního nátěru jiného výrobce bylo zjištění kompatibility se základním nátěrem. Tloušťka mokré vrstvy vrchního nátěru (WFT) byla zvolena 90 μm a suché vrstvy nátěru (DFT) byla 75 μm

Tabulka 19 Technologický postup aplikace vrchního nátěru

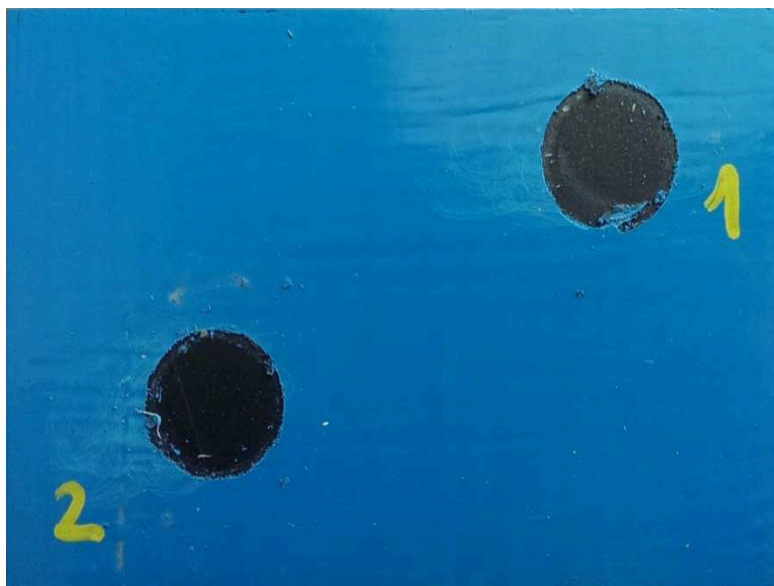
Metoda aplikace	štětec
Poměr tužení	7:1
Ředění nátěrové hmoty	10% ředidlem
Teplota okolí	21,5°C
Teplota podkladového materiálu	21,6°C
Relativní vlhkost vzduchu	34,8 %
Teplota rosného bodu	5,4°C

Tabulka 20 Výsledky měření mokré tloušťky (WFT) a suché tloušťky (DFT) vrchního nátěru

Podkladový materiál	WFT (μm)	DFT (μm)			
		n (-)	DFT (μm)	min. DFT (μm).	max. DFT (μm)
Odmaštěný povrch	75 až 150	10	10	119,7	92,4
Otryskaný povrch	50 až 100	10	10	70,39	51,5
Zkorodovaný povrch 10% roztokem soli	75 až 125	10	10	128,77	88,1
Zkorodovaný povrch čistou vodou	75 až 125	10	10	86,86	58,3

n – počet měření, DFT – suchá tloušťka nátěrového systému včetně korozního produktu, min. DFT – minimální hodnota suché tloušťky nátěru, max. DFT – maximální hodnota suché tloušťky nátěru

Fotodokumentace z aplikace vrchního nátěru



Obrázek 36 Vrchní nátěr

11.1 Stanovení tloušťky mokrého a suchého nátěrového filmu dle ČSN EN ISO 2808

Pro stanovení tloušťky mokrého nátěru byl použit měřicí hřeben, který poskytuje přibližné údaje o tloušťce mokré vrstvy viz Obrázek 37. Pro stanovení tloušťky suchého nátěru byl použit tloušťkoměr ELCOMETER 456 viz Obrázek 38. Jedná se o nedestruktivní metodu, pracující na principu elektromagnetické indukce.



Obrázek 37 Měřicí hřeben pro stanovení mokrého filmu



Obrázek 38 Tloušťkoměr ELCOMETER 456 pro stanovení suché tloušťky nátěru

11.2 Výsledky měření tloušťky základního nátěru

V následujících tabulkách 21 až 24 jsou uvedeny výsledky měření mokré a suché tloušťky základního nátěru.

Tabulka 21 Hodnoty tlouštěk mokrého a suchého základního nátěru – otryskaný povrch

Vzorek č.	Mokrý tloušťka nátěru (μm)	Suchá tloušťka nátěru		
		min. tloušťka filmu (μm)	max. tloušťka filmu (μm)	Průměrná tloušťka filmu (μm)
1OT	225÷250	23,5	134	45,8
2OT	175÷200	19,6	43,2	31,7
3OT	225÷250	24,0	72,1	36,5
4OT	175÷200	24,2	154,0	47,5
5OT	175÷200	22,2	42,1	30,7
6OT	200÷225	20,9	237	58,8
7OT	175÷200	24,2	179,0	45,9
8OT	225÷250	32,0	48,8	37,8

Pozn. OT - otryskaný povrch

Tabulka 22 Hodnoty tlouštěk mokrého a suchého základního nátěru – odmaštěný povrch

Vzorek č.	Mokrý tloušťka nátěru (μm)	Suchá tloušťka nátěru		
		min. tloušťka filmu (μm)	max. tloušťka filmu (μm)	Průměrná tloušťka filmu (μm)
1OD	150÷175	60,3	104	83,1
2OD	225÷250	35,0	73,1	57,1
3OD	175÷200	45,0	157	87,1
4OD	250÷275	66,5	210,0	93,9
5OD	175÷200	33,2	88,1	44,4
6OD	200÷225	33,3	158	61,1
7OD	175÷200	35,3	62,4	49,4
8OD	200÷225	37,6	299,0	141,9

Pozn. OD - odmaštěný povrch

Tabulka 23 Hodnoty tloušťek mokrého a suchého základního nátěru – zkorodovaný povrch 10% roztokem soli

Vzorek č.	Mokrý tloušťka nátěru (μm)	Suchá tloušťka nátěru		
		min. tloušťka filmu (μm)	max. tloušťka filmu (μm)	Průměrná tloušťka filmu (μm)
1S	250÷300	39,9	436,0	185,0
2S	200÷250	45,5	136,0	88,2
3S	200÷250	45,6	287,0	125,2
4S	250÷300	26,9	65,8	43,2
5S	250÷300	18,4	102	57,0
6S	250÷300	28,0	91,8	62,3
7S	250÷300	30,8	328,0	116,5
8S	200÷250	25,4	276,0	89,2
9S	250÷300	30,4	94,1	65,3
10S	250÷300	19,1	47,6	31,0
11S	250÷300	53,7	491,0	237,7
12S	200÷250	18,5	82,9	41,7

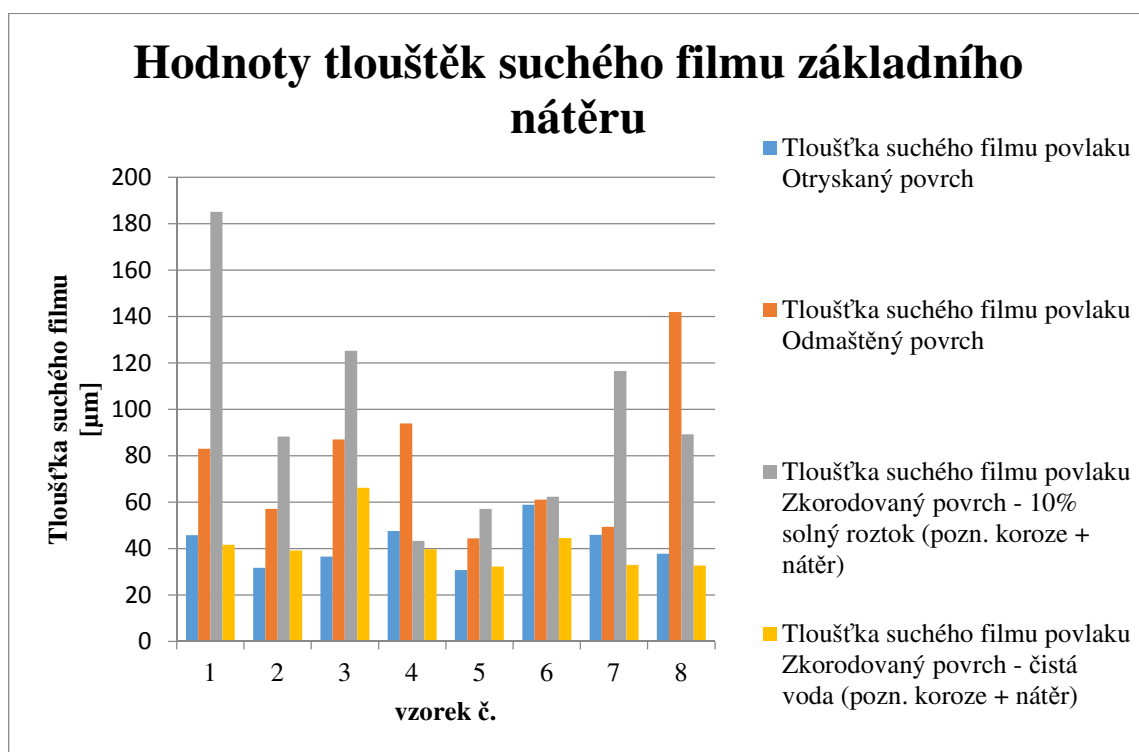
Pozn. Naměřené hodnoty uvedené v tabulce odpovídají tloušťce nátěru včetně koroze (S – vytvořená koroze 10% roztokem soli)

Tabulka 24 Hodnoty tloušťek mokrého a suchého základního nátěru – zkorodovaný povrch čistou vodou

Vzorek č.	Mokrý tloušťka nátěru (μm)	Suchá tloušťka nátěru		
		min. tloušťka filmu (μm)	max. tloušťka filmu (μm)	Průměrná tloušťka filmu (μm)
1V	200÷250	27,1	61,9	41,6
2V	200÷250	23,9	53,8	39,1
3V	250÷300	37,1	124,0	66,1
4V	250÷300	29,2	49,6	39,6
5V	300÷400	18,8	51,2	32,3
6V	250÷300	23,4	66,7	44,6
7V	200÷250	24,1	44,3	32,9
8V	200÷250	24,1	39,0	32,7
9V	250÷300	25,6	54,5	36,9
10V	200÷250	32,1	74,7	55,9
11V	200÷250	17,6	47,7	33,4
12V	250÷300	30,0	54,0	45,7

Pozn. Naměřené hodnoty uvedené v tabulce odpovídají tloušťce nátěru včetně koroze (V – koroze čistá voda)

Graf 2 znázorňuje rozdíly průměrných hodnot tloušťek základního nátěru. Největší rozdíly se projevují na zkorodovaných vzorcích vytvořené 10% roztokem soli, neboť tloušťka nátěru je měřena včetně korozních produktů.



Graf 2 Naměřené hodnoty tloušťek suchého filmu povlaku základního nátěru

11.3 Výsledky měření tloušťek nátěrového systému (základní + vrchní polyuretanový nátěr)

V tabulkách 25 a 26 jsou uvedeny výsledky měření mokré a suché tloušťky základního + vrchního nátěru.

Tabulka 25 Hodnoty tloušťek mokrého nátěru (základní + vrchní nátěr)

Vzorek č.	Mokrá tloušťka nátěru[μm]	Vzorek č.	Mokrá tloušťka nátěru[μm]
1OD	150	1OT	50
2OD	75	2OT	100
3OD	75	3OT	75
4OD	75	4OT	75
Vzorek č.	Mokrá tloušťka nátěru[μm]	Vzorek č.	Mokrá tloušťka nátěru[μm]
4S	75	4V	100
5S	125	5V	100
6S	75	6V	75
7S	125	8V	100
9S	125	9V	125
10S	75	11V	100

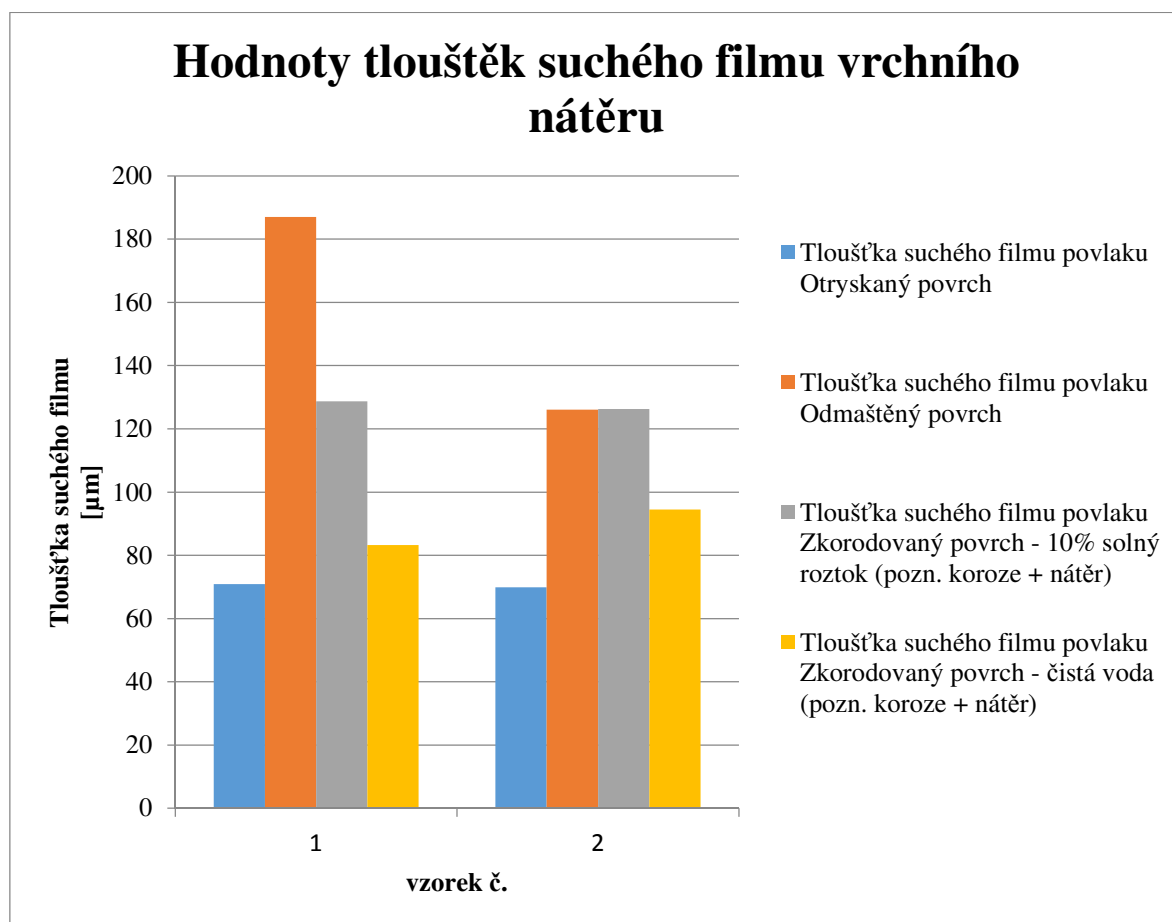
Pozn. OD – odmaštěný povrch, OT – otryskaný povrch, S – koroze 10% roztokem soli,
V – koroze čistá voda

Tabulka 26 Hodnoty tloušťek suchého nátěru (základní + vrchní nátěr)

Vzorek č.	Suchá tloušťka nátěru		
	min. tloušťka filmu [μm]	max. tloušťka filmu [μm]	Průměrná tloušťka filmu [μm]
1OD	147	249	187
2OD	92	164	126,
1OT	51	145	70
2OT	52	91	69
1V	60	102	83
2V	75	132	94
8V	58	92	73
9V	58	127	96
1S	70	193	12
2S	89	146	126
7S	102	175	137
9S	88	167	122

Pozn. Hodnoty v tabulce u vzorků označených V, S odpovídají tloušťce nátěru včetně koroze (OD – odmaštěný povrch, OT – otryskaný povrch, V – koroze voda, S – koroze 10% solný roztok)

Graf 3 znázorňuje rozdíly průměrných hodnot tloušťek zjištěných při měření vrchního nátěru.

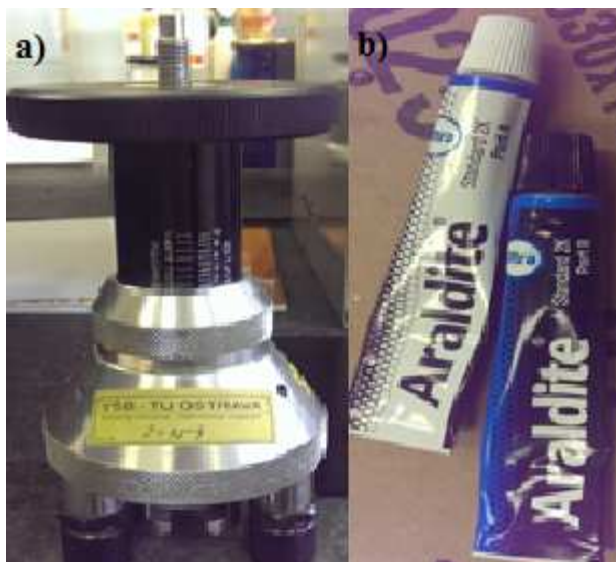


Graf 3 Naměřené hodnoty tloušťek suchého filmu povlaku vrchního nátěru

12. Měření přilnavosti nátěrového systému

12.1 Odrthová zkouška přilnavosti dle normy ČSN EN ISO 16276-1

Odrthová zkouška přilnavosti je metoda destruktivní, která se provádí na vytvrzeném nátěrovém systému. Výsledkem zkoušky je minimální tahové napětí, které se musí vynaložit k odtržení přilepeného zkušebního válečku. [16]



Obrázek 39 Zařízení pro provedení odrthové zkoušky, a) zařízení F-106 odrthoměr, b) použité lepidlo ARALDITE

Postup zkoušky:

Jemným smirkovým papírem se obrousí váleček a nátěr na předem zvoleném místě. Namíchá se dvousložkové lepidlo ARALDITE v mísicím poměru 1:1. Lepidlo se nanese na funkční plochu válečku, který se nalepí na připravenou plochu nátěru a nechá se zaschnout po dobu min. 24 hodin. Po vytvrzení lepidla se kolem zkušebního válečku prořízne nátěr až na podkladový materiál za pomoci řezného nástroje. Umístíme okolo válečku vnější prstenec a na zkušební váleček nasuneme odrthoměr. Provede se zkouška. Po odtržení válečku odečteme hodnotu přilnavosti z odrthoměru a posoudí se lomové plochy. [16]

Charakteristika lomu

Hodnotí se na základě vizuální prohlídky místa odtržení. Výsledky se udávají jako procentuální podíl plochy zkušebního válečku. Výsledky mohou být zapsány podle následujícího schématu :

A – kohezní lom v podkladu

A/B – adhezní lom mezi podkladem a nátěrem

B – kohezní lom nátěru

B/Y – adhezní lom mezi nátěrem a lepidlem

Y/Z – adhezní lom mezi lepidlem a zkušebním válečkem [16]

12.2 Mřížková zkouška přilnavosti dle normy ČSN EN ISO 16276-2

Mřížková zkouška přilnavosti je metoda destruktivní, která hodnotí odolnost nátěrového systému proti oddělení od podkladového materiálu. [10]

Postup zkoušky:

Zvolí se místo pro provedení řezu do nátěrového systému. Řezným nástrojem se provede šest rovnoběžných řezů v jednom směru a šest řezů kolmých k prvním šesti řezům. Řezy musí proniknout na podkladový materiál. Po vyhotovení mřížky pomocí dvou na sebe kolmých řezů byla plocha očištěna štětečkem. Přes mřížku byla nalepena speciální lepicí páska. Páska byla přitlačena k podkladu a pod úhlem 60° odlepena. K vyhodnocení je použita lupa, která je součástí sady pro testování pomocí mřížkové zkoušky. [16]

Tabulka 27 Klasifikace mřížkové zkoušky [16]



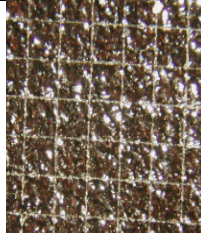

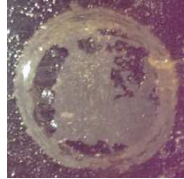





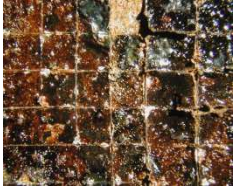



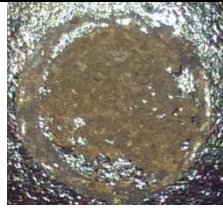





Klasifikace	Popis	Schéma
0	Řezy jsou zcela hladké, žádný čtverec není poškozen.	
1	Nepatrné poškození v místech, kde se kříží. Poškozená plocha nesmí přesahovat 5 %.	
2	Nátěr je nepatrně poškozen podél řezu a při jejich křížení. Povrch smí být poškozen o více než 5 % a méně než 15 % celkové plochy.	
3	Nátěr je částečně poškozen v rozích řezů, podél řezných hran částečně nebo celý, na různých místech mřížky. Poškození mřížky je větší než 15 %, ale menší než 35 %.	
4	Na nátěru jsou velké změny v rozích řezů a některé čtverečky jsou částečně nebo zcela poškozeny. Plocha mřížky je poškozena z více jak 35 %, ale méně než z 65 %.	
5	Změny, které jsou větší než u stupně 4, více jak 65 %.	

12.3 Výsledky odtrhové zkoušky přilnavosti dle normy ČSN EN ISO 16276-1 a mřížkové zkoušky dle ČSN EN ISO 16276-2 pro základní nátěr

Výsledky odtrhové a mřížkové zkoušky přilnavosti včetně jejich fotodokumentace pro základní nátěr jsou uvedeny v Tabulce 28.

Tabulka 28 Přilnavost základního nátěru

Vzorek č.	50D	60D	50T	60T
Odrhová pevnost [MPa]	4;6	3;5	5;4	6;6
Charakteristika lomové plochy [%]	100% A/B	100% A/B	80% A/B 20% B/Y	100% A/B
Fotodokumentace (odtrhová zkouška přilnavosti)				
Průměrná hodnota klasifikace mřížkové zkoušky přilnavosti -	0;0 rozteč řezu 1 mm	3;0 rozteč řezu 1 mm	0;0 rozteč řezu 1 mm	0;0 rozteč řezu 1 mm

Fotodokumentace (mřížková zkouška přilnavosti)				
Vzorek č.	1S - min. množství výskytu koroze	2S – max. množství výskytu koroze	8S – min. množství výskytu koroze	11S – max. množství výskytu koroze
Odrhová pevnost [MPa]	2;1	2;3	1;0 - při ořezání došlo k uvolnění	1;0 - při ořezání došlo k uvolnění
Charakteristika lomové plochy [%]	80% A/B 20% B/Y	98% A/B 2% B/Y	40% A/B 60% B/Y	10% A/B 90% B/Y
Fotodokumentace (odtrhová zkouška přilnavosti)				
Průměrná hodnota klasifikace mřížkové zkoušky přilnavosti -	0;1 rozteč řezu 3 mm	1;1 rozteč řezu 2 mm	1;2 rozteč řezu 2 mm	4;4 rozteč řezu 2 mm
Fotodokumentace (mřížková zkouška přilnavosti)				
Vzorek č.	1V- max. množství výskytu koroze	2V – min. množství výskytu koroze	3V- min. množství výskytu koroze	12V-max množství výskytu koroze
Odrhová pevnost [MPa]	3;1	2;1	2;2	1;1
Charakteristika lomové plochy [%]	80% A/B 20% B/Y	100% A/B	95% A/B 5% B/Y	95%A/B 5% B/Y
Fotodokumentace (odtrhová zkouška přilnavosti)				
Průměrná hodnota klasifikace mřížkové zkoušky přilnavosti [-]	2;4 rozteč řezu 1 mm	5;3 rozteč řezu 1 mm	5;1 rozteč řezu 1 mm	3;5 rozteč řezu 1 mm
Fotodokumentace (mřížková zkouška přilnavosti)				

Pozn. Zkorodované vzorky - výskyt koroze mezi podkladem a nátěrem

Graf 4 znázorňuje průměrné hodnoty přilnavosti základního nátěru zjištěné odtrhovou zkouškou.



Graf 4 Vyhodnocení odtrhové pevnosti (základní nátěr)

Graf 5 znázorňuje průměrné hodnoty klasifikačního stupně mřížkové zkoušky přilnavosti pro základní nátěr.


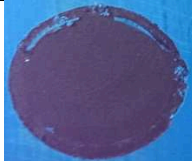
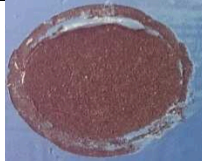
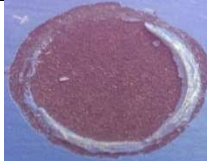
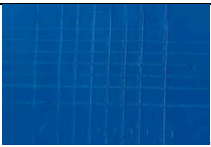
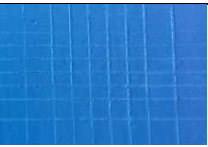
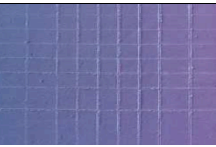
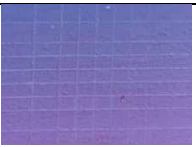
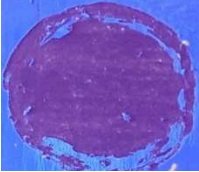

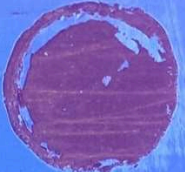
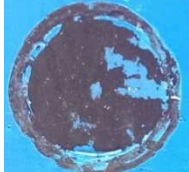


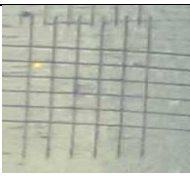
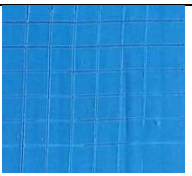
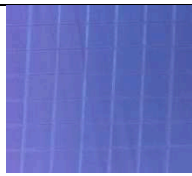
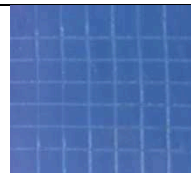

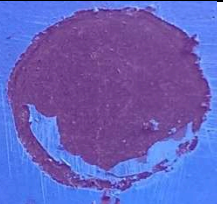

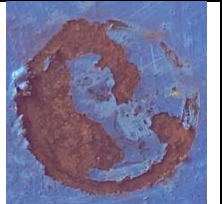
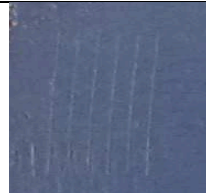


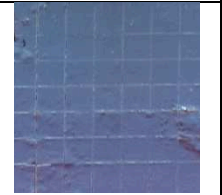
Graf 5 Vyhodnocení mřížkové zkoušky přilnavosti (základní nátěr)

12.4 Výsledky odtrhové zkoušky přilnavosti dle normy ČSN EN ISO 16276-1 a mřížkové zkoušky dle ČSN EN ISO 16276-2 nátěrového systému (základní + vrchní polyuretanový nátěr)

Výsledky odtrhové a mřížkové zkoušky přilnavosti a jejich fotodokumentace pro základní + vrchní polyuretanový nátěr jsou uvedeny v Tabulce 29.

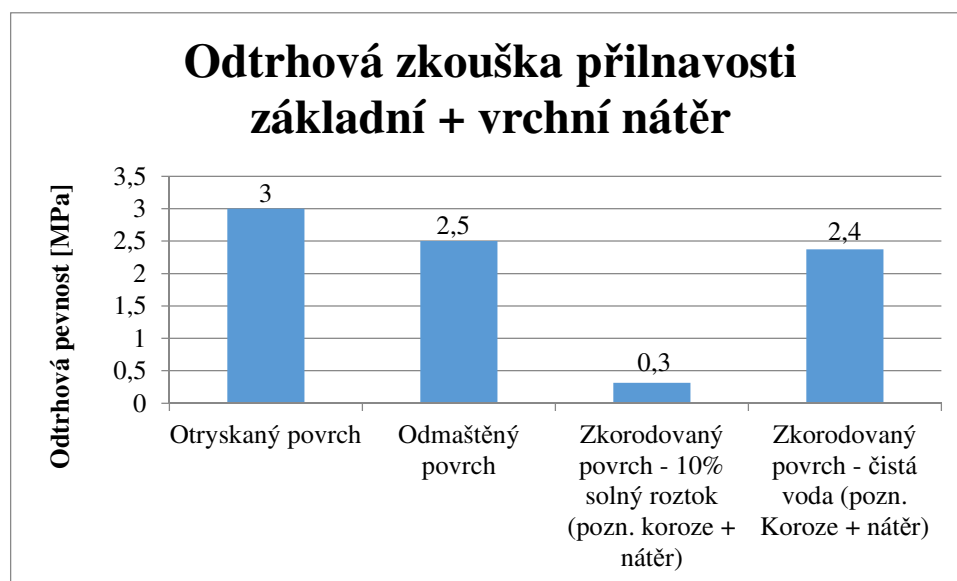
Tabulka 29 Přilnavost nátěrového systému na různé povrchy materiálu
(základní + vrchní nátěr)

Vzorek č.	2OD	3OD	3OT	4OT
Odrhová pevnost [MPa]	1;1	2;1	3;2	2;5
Charakteristika lomové plochy [%]	95% A/B 5% B/Y	98% A/B 2% B/Y	95% A/B 5% B/Y	90% A/B 10% B/Y
Fotodokumentace (odtrhová zkouška přilnavosti)				
Průměrná hodnota klasifikace mřížkové zkoušky přilnavosti [-]	1;2 rozteč řezu 3 mm	0;1 rozteč řezu 2 mm	1;1 rozteč řezu 2 mm	0;0 rozteč řezu 2 mm
Fotodokumentace (mřížková zkouška přilnavosti)				
Vzorek č.	4V - max.množství výskytu koroze	6V - min. množství výskytu koroze	8V - max. množství výskytu koroze	9V - min. množství výskytu koroze
Odrhová pevnost [MPa]	2;2	2;4	1;3	3;2
Charakteristika lomové plochy [%]	90% A/B 10% B/Y	95% A/B 5% B/Y	90% A/B 10% B/Y	95% A/B 5% B/Y
Fotodokumentace (odtrhová zkouška přilnavosti)				
Průměrná hodnota klasifikace mřížkové zkoušky přilnavosti [-]	1;1 rozteč řezu 2 mm	1;1 rozteč řezu 2 mm	2;1 rozteč řezu 2 mm	1;1 rozteč řezu 3 mm

Fotodokumentace (mřížková zkouška přilnavosti)				
Vzorek č.	5S - min. množství výskytu koroze	6S - min. množství výskytu koroze	7S - max. množství výskytu koroze	9S - min. množství výskytu koroze
Odrhová pevnost [MPa]	0,5;0-při ořezání došlo k uvolnění	1;0-při ořezání došlo k uvolnění	0,5;0-při ořezání došlo k uvolnění	0,5;0-při ořezání došlo k uvolnění
Charakteristika lomové plochy [%]	70% A/B 30% B/Y	90% A/B 10% B/Y	30% A/B 70% B/Y	35% A/B 65% B/Y
Fotodokumentace (odtrhová zkouška přilnavosti)				
Průměrná hodnota klasifikace mřížkové zkoušky přilnavosti [-]	1;2 rozteč řezu 3 mm	1;2 rozteč řezu 2 mm	3;3 rozteč řezu 3 mm	2;2 rozteč řezu 3 mm
Fotodokumentace (mřížková zkouška přilnavosti)				

Pozn. Zkorodované vzorky - výskyt koroze mezi podkladem a nátěrem

Graf 6 a 7 znázorňuje hodnoty zjištěné při odtrhové a mřížkové zkoušce přilnavosti pro nátěrový systém základní + vrchní nátěr.



Graf 6 Vyhodnocení odtrhové pevnosti (základní + vrchní nátěr)



Graf 7 Vyhodnocení mřížkové zkoušky (základní + vrchní nátěr)

13. Korozní zkouška v umělé atmosféře – zkouška solnou mlhou dle ČSN EN ISO 9227

Dle normy ČSN EN ISO 9227 byla provedena korozní zkouška v umělé atmosféře zkouška solnou mlhou. Norma ČSN ISO 9227 stanoví přístroje, chemikálie a postup pro zkoušky. Norma ČSN EN ISO 9227 stanoví přístroje, chemikálie a postup pro zkoušky v mlze neutrálního roztoku chloridu sodného (NSS), v mlze okyseleného roztoku chloridu sodného (AASS) a v mlze okyseleného roztoku chloridu sodného a chloridu měďnatého (CASS), kterými se zjišťuje protikorozní odolnost kovových materiálů jak nechráněných, tak i s ochrannými povlaky nebo s dočasnou protikorozní ochranou. [16]

Korozní zkouška pro solnou mlhu byla provedena metodou NSS – v mlze neutrálního 5% roztoku chloridu sodného. Zkouška byla provedena v korozní komoře Liebisch typ S400 m TR.

Postup zkoušky:

- Zhotovení nátěrového filmu na podkladovém materiálu.
- Na vzorcích byly zhotoveny řezy (min. 50 mm), které musí proniknout až na základní materiál (podkladový materiál).
- Hrany a zadní strany vzorku byly přelepeny lepicí páskou.
- Vložení vzorků do korozní komory (Obrázek 40).
- Po skončení zkoušky se vzorky opláchnou tekoucí čistou vodou o teplotě nepřesahující 40 °C a osuší se proudem vzduchu.
- Vyhodnocení zkoušky bylo provedeno vizuálně dle normy ČSN EN ISO 4628-2,3 (*Hodnocení stupně puchýřkování dle normy ČSN EN ISO 4628-2 a hodnocení stupně prorezavění dle normy ČSN EN ISO 4628-3:2004*) a zkouškami přilnavosti (*Odtrhová zkouška přilnavosti dle normy ČSN EN ISO 16276-1, mřížková zkouška přilnavosti dle normy ČSN EN ISO 16276-2:2007*).



Obrázek 40 Korozní komora zkouška solnou mlhou [16]

Pro korozní zkoušku v umělé atmosféře byly použity nátěrové systémy:

- základní nátěrová hmota aplikovaná na zkorodované, odmaštěné a otryskané povrchy
- základní + vrchní nátěrová hmota aplikovaná na zkorodované, odmaštěné a otryskané povrchy

Pro korozní zkoušku v umělé atmosféře byla polovina všech testovacích vzorků poškozena umělým řezem o velikosti 50 mm. Řez se vytváří k simulaci povrchové vady.

Doba zkoušky byla stanovena na 168 hod. Vlastnosti nátěrových systémů do korozní zkoušky solnou mlhou byly hodnoceny vizuálně dle normy ČSN EN ISO 4628 - 2,3 a zkouškami přilnavosti dle ČSN EN ISO 16276 - 1,2.

13.1 Hodnocení nátěrových systémů po korozní zkoušce v solné mlze podle normy ČSN EN ISO 4628-2,3

Tabulka 30 Vyhodnocení korozní zkoušky solnou mlhou podle ČSN EN ISO 4628-2,3

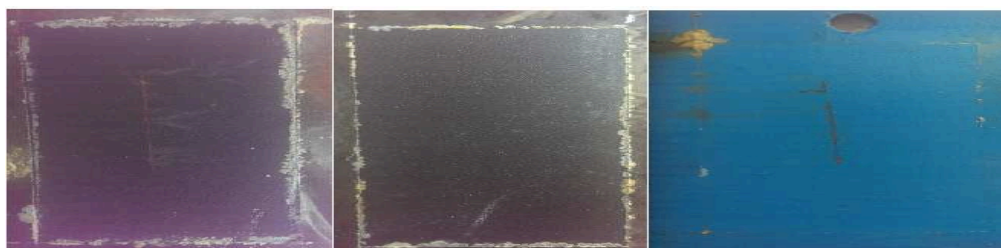
Vzorek č.	Nátěrový systém	Čas zkoušky (hod)	Stupeň puchýřkování dle ČSN EN ISO 4628-2	Prorézavění plochy dle ČSN EN ISO 4628-3
7OD	Základní nátěr	168	2[S2]	Ri0
8OD	Základní nátěr	168	0[S0]	Ri0
2OD	Základní + vrchní nátěr	168	2[S2]	Ri0
3OD	Základní + vrchní nátěr	168	4[S3]	Ri0
7OT	Základní nátěr	168	0[S0]	Ri1
8OT	Základní nátěr	168	0[S0]	Ri1
3OT	Základní + vrchní nátěr	168	2[S2]	Ri0
4OT	Základní + vrchní nátěr	168	2[S2]	Ri0
7V	Základní nátěr	168	2[S2]	Ri0
10V	Základní nátěr	168	2[S2]	Ri0
8V	Základní + vrchní nátěr	168	0[S0]	Ri0
9V	Základní + vrchní nátěr	168	2[S3]	Ri0
3S	Základní nátěr	168	5[S0]	Ri3
12S	Základní nátěr	168	0[S0]	Ri4
7S	Základní + vrchní nátěr	168	2[S4]	Ri0
9S	Základní + vrchní nátěr	168	0[S0]	Ri0

Pozn. OD - odmaštěný povrch, OT - otryskaný povrch, V - koroze voda, S - koroze 10% solný roztok

Fotodokumentace vzorků po korozní zkoušce



Obrázek 41 Fotodokumentace odmaštěných vzorků po korozní zkoušce



Obrázek 42 Fotodokumentace otryskaných vzorků po korozní zkoušce



Obrázek 43 Fotodokumentace (koroze čistá voda) vzorků po korozní zkoušce



Obrázek 44 Fotodokumentace (koroze 10% solný roztok) vzorků po korozní zkoušce

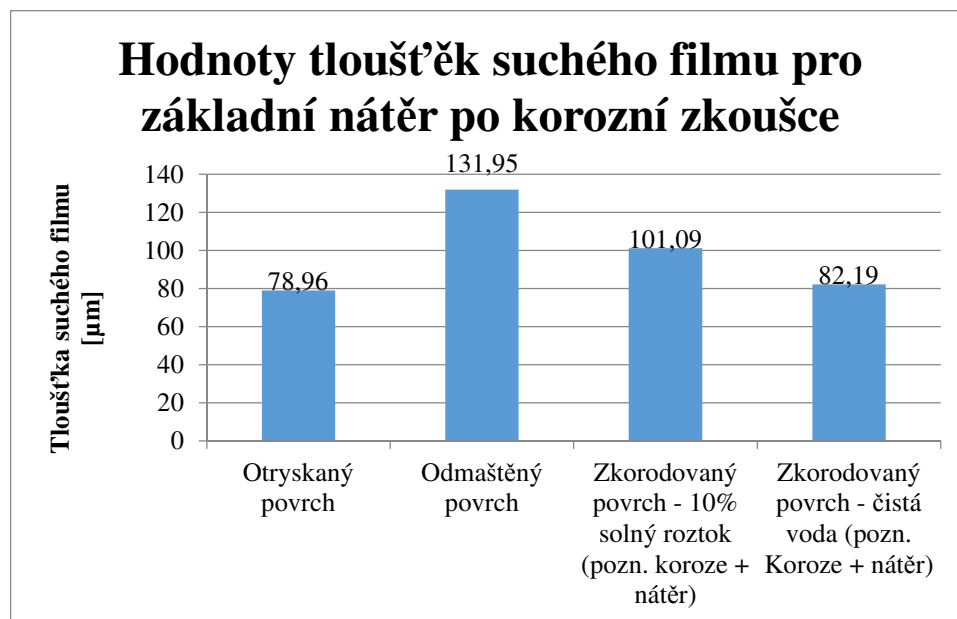
13.2 Výsledky měření tloušťky suchého nátěrového filmu po exponování vzorku v korozní komoře

Tabulka 31 Tloušťky suchého nátěrového filmu po exponování vzorku v korozní komoře

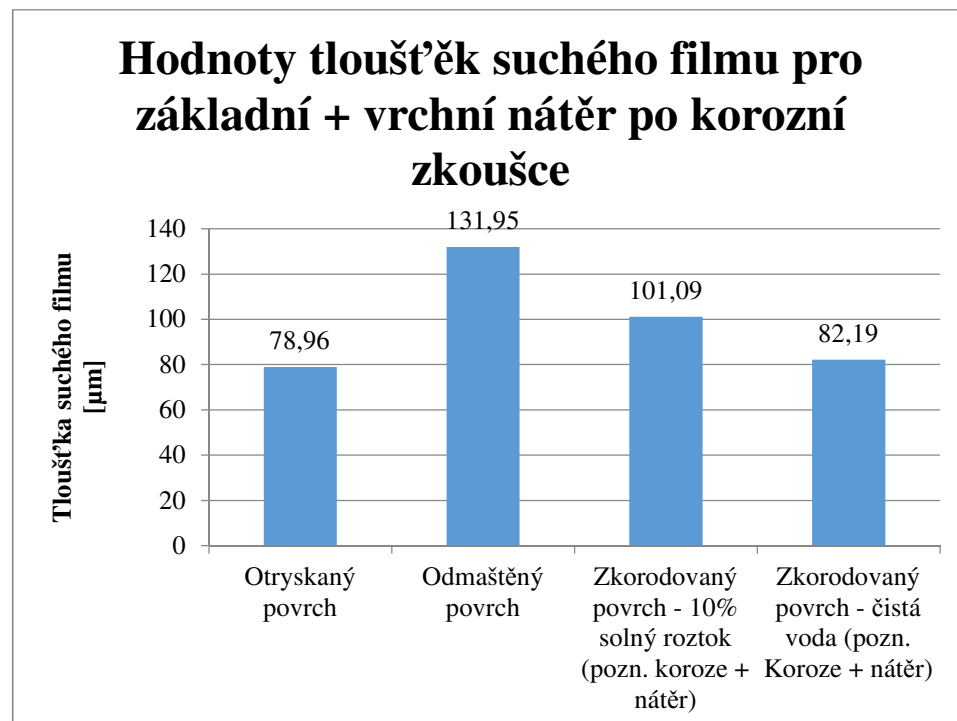
Vzorek č.-	Nátěrový systém	Suchá tloušťka nátěru		
		min. tloušťka filmu (μm)	max. tloušťka filmu (μm)	Průměrná tloušťka filmu (μm)
7OD	základní nátěr	42,5	60,1	47,76
8OD	základní nátěr	45,7	62,7	52,45
2OD	základní + vrchní nátěr	111	176	142,3
3OD	základní + vrchní nátěr	87,3	139	121,6
7OT	základní nátěr	33,2	78,2	42,25
8OT	základní nátěr	41,4	56,6	46,4
3OT	základní + vrchní nátěr	63,4	105	81,75
4OT	základní + vrchní nátěr	58,2	86,7	76,18
7V	základní nátěr	28,3	54,8	40,77
10V	základní nátěr	51,0	79,7	65,66
8V	základní + vrchní nátěr	69,6	93,2	79,67
9V	základní + vrchní nátěr	54,6	101	84,72
3S	základní nátěr	47,8	147	105,3
12S	základní nátěr	46	110	76,75
7S	základní + vrchní nátěr	91,8	153	117,8
9S	základní + vrchní nátěr	62,8	110	84,38

Pozn. OD - odmaštěný povrch, OT - otryskaný povrch, V - koroze voda, S - koroze 10% solný roztok

Graf 8 a 9 znázorňuje hodnoty tloušťky suchého filmu pro základní nátěr a pro základní + vrchní nátěr po korozní zkoušce.



Graf 8 Naměřené hodnoty tloušťek suchého filmu povlaku základního nátěru po korozní zkoušce



Graf 9 Naměřené hodnoty tloušťek suchého filmu povlaku základního + vrchního nátěru po korozní zkoušce







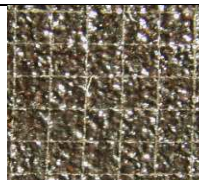
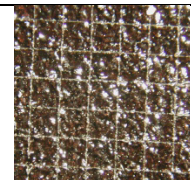
13.3 Výsledky měření přilnavosti nátěrového systému po korozní zkoušce

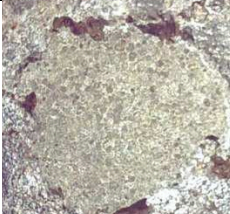






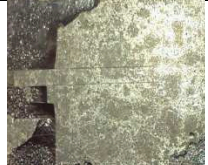
13.3.1 Výsledky odtrhové a mřížkové zkoušky pro základní a vrchní nátěr (základní nátěr + dvousložkový polyuretanový nátěr) po korozní komoře

Výsledky odtrhové a mřížkové zkoušky přilnavosti včetně jejich fotodokumentace jsou uvedeny v Tabulce 32.

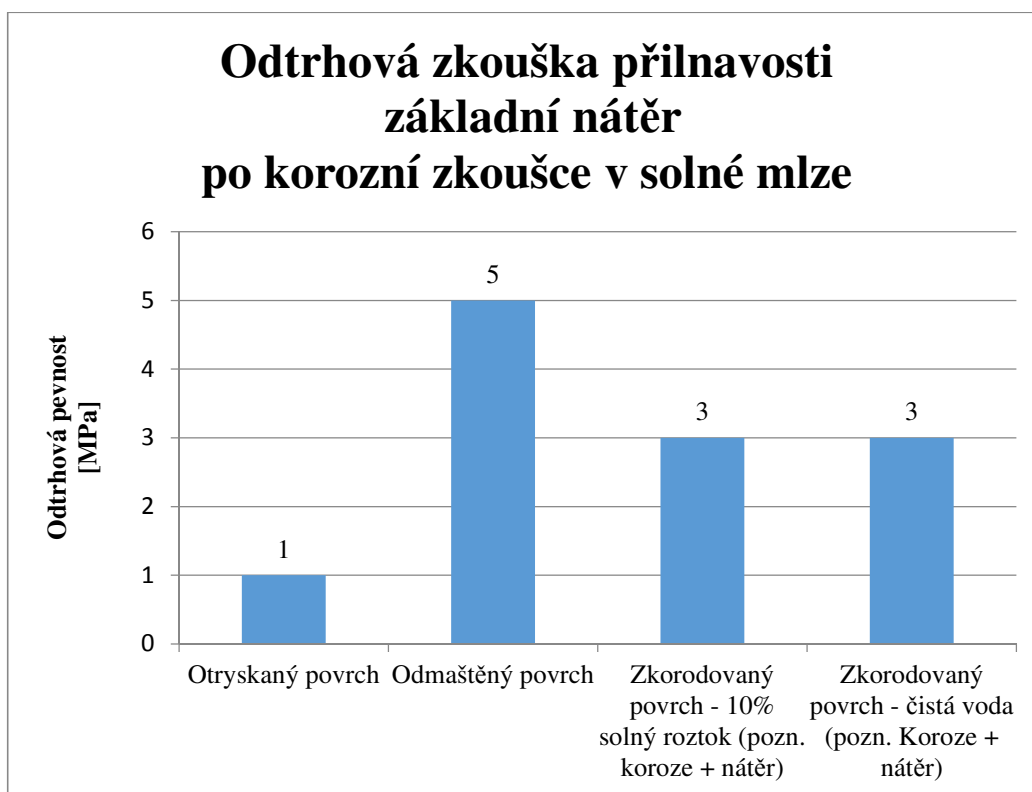
Výsledky odtrhové a mřížkové zkoušky přilnavosti včetně jejich fotodokumentace materiálu se základním a vrchním dvousložkovým polyuretanovým nátěrem jsou uvedeny v Tabulce 33.

Tabulka 32 Výsledky odtrhové a mřížkové zkoušky pro základní nátěr na různé povrchy materiálu po korozní komoře

Vzorek č.	50D	60D	70T	80T
Odrhová pevnost [MPa]	0,5; 0-při ořezání došlo k uvolnění panenky	0,5; 0,5	1; 2	1; 1
Charakteristika lomové plochy [%]	100% A/B	100% A/B	97% A/B 3% B/Y	40% A/B 60% B/Y
Fotodokumentace (odtrhová zkouška přilnavosti)				
Průměrná hodnota klasifikace mřížkové zkoušky přilnavosti [-]	5 rozteč řezu 3 mm Nátěr po sejmutí speciální lepicí pásky se odtrhl od povrchu materiálu	5 rozteč řezu 2 mm Nátěr po sejmutí speciální lepicí pásky se odtrhl od povrchu materiálu	0;0 rozteč řezu 3 mm	0;0 rozteč řezu 3 mm
Fotodokumentace				
Vzorek č.	7V - min. množství výskytu koroze	10V - max. množství výskytu koroze	3S - max. množství výskytu koroze	12S - max. množství výskytu koroze
Odrhová pevnost [MPa]	0,5; 0-při ořezání došlo k uvolnění panenky	0,5; 0,5	0; 0 - při ořezání došlo k uvolnění	0;0 - při ořezání došlo k uvolnění
Charakteristika lomové plochy [%]	95% A/B + rez 5% B/Y + rez	50% A/B + rez 50% B/Y + rez	100% A/B + rez	20% A/B + rez 80% B/Y + rez

Fotodokumentace (odtrhová zkouška přilnavosti)				
Průměrná hodnota klasifikace mřížkové zkoušky přilnavosti [-]	5 rozteč řezu 3 mm Nátěr po sejmutí speciální lepicí pásky se odtrhl od povrchu materiálu	5 rozteč řezu 3 mm Nátěr po sejmutí speciální lepicí pásky se odtrhl od povrchu materiálu	5 rozteč řezu 3 mm Nátěr po sejmutí speciální lepicí pásky se odtrhl od povrchu materiálu	5 rozteč řezu 3 mm Nátěr po sejmutí speciální lepicí pásky se odtrhl od povrchu materiálu
Fotodokumentace				

Graf 10 znázorňuje průměrné hodnoty přilnavosti nátěrového systému zjištěné odtrhovou zkouškou pro základní nátěr po korozní zkoušce.



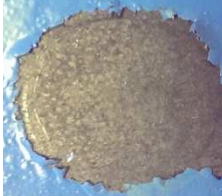
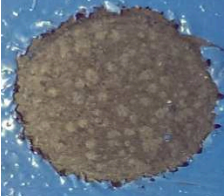

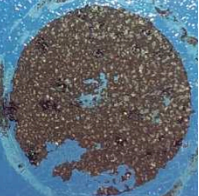



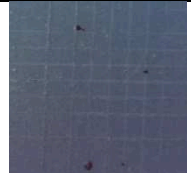



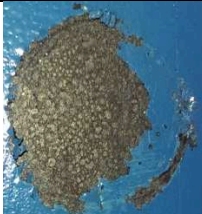
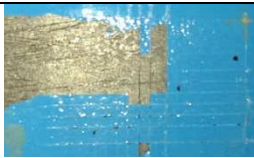
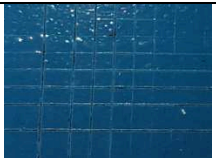


Graf 10 Vyhodnocení odtrhové pevnosti (základní nátěr) po korozní zkoušce

Graf 11 znázorňuje průměrné hodnoty přilnavosti nátěrového systému zjištěné mřížkovou zkouškou pro základní nátěr po korozní zkoušce.

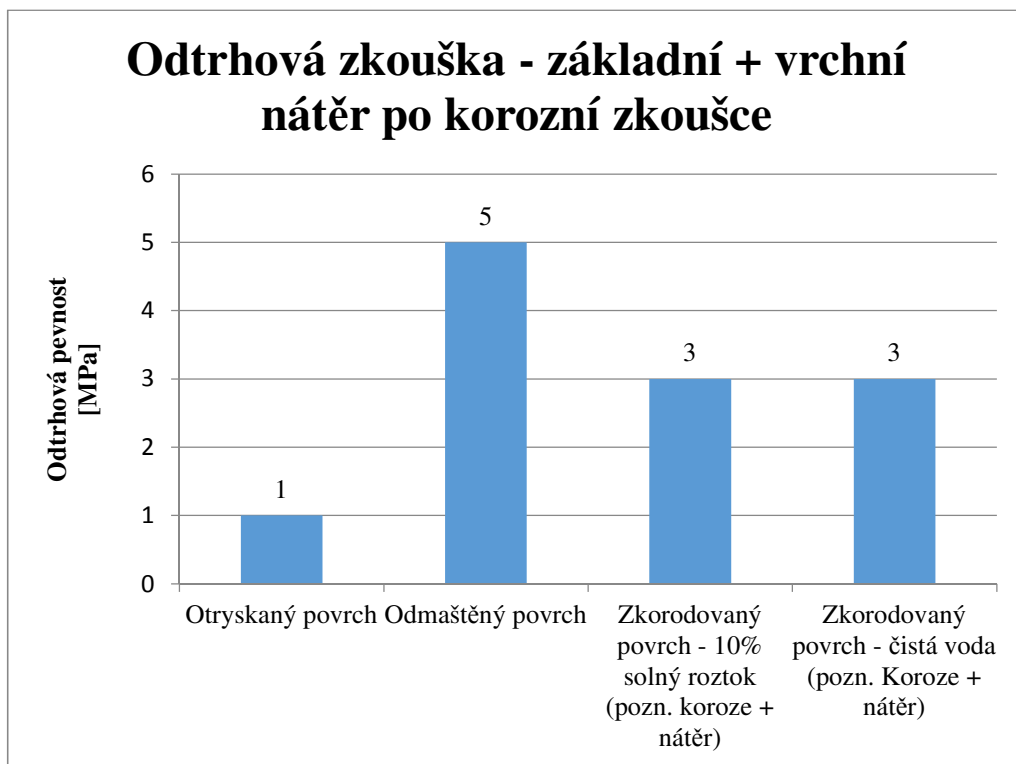


Graf 11 Vyhodnocení mřížkové zkoušky (základní nátěr) po korozní zkoušce

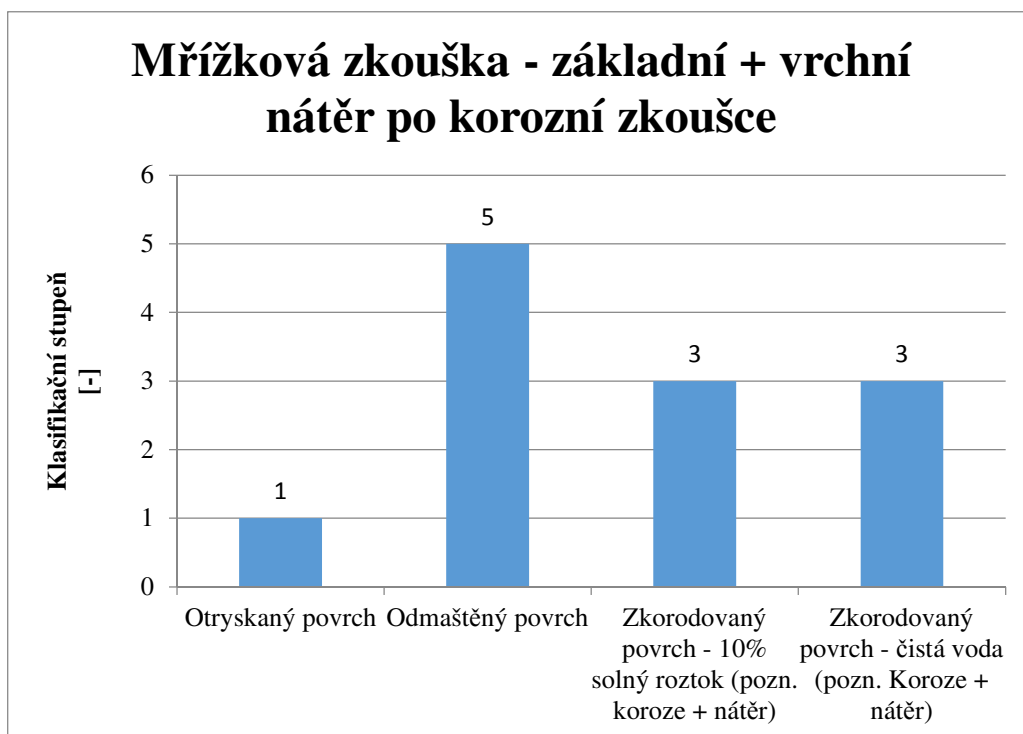
Tabulka 33 Výsledky odtrhové a mřížkové zkoušky pro základní + vrchní nátěr na různé povrchy materiálu po korozní koměře

Vzorek č.	2OD	3OD	3OT	4OT
Odrhová pevnost [MPa]	0,5; 0-při ořezání došlo k uvolnění panenky	0,5; 0,5	1; 2	3; 2
Charakteristika lomové plochy [%]	100% A/B	100% A/B	3% A/B 97% B/Y	90% A/B 10% B/Y
Fotodokumentace (odtrhová zkouška přilnavosti)				
Průměrná hodnota klasifikace mřížkové zkoušky přilnavosti [-]	5 rozteč řezu 2 mm Nátěr po sejmutí speciální lepicí pásky se odtrhl od povrchu materiálu	5 rozteč řezu 2 mm Nátěr po sejmutí speciální lepicí pásky se odtrhl od povrchu materiálu	1 rozteč řezu 1 mm	1 rozteč řezu 2 mm
Fotodokumentace				
Vzorek č.	8V max. množství výskytu koroze	9V min. množství výskytu koroze	7S - max. množství výskytu koroze	9S - min. množství výskytu koroze
Odrhová pevnost [MPa]	1; 0-při ořezání došlo k uvolnění panenky	1; 0- při ořezání došlo k uvolnění panenky	0; 0- při ořezání došlo k uvolnění panenky	0; 0- při ořezání došlo k uvolnění panenky
Charakteristika lomové plochy [%]	100% A/B + rez	100% A/B +rez	20% A/B +rez 80% B/Y+ rez	70% A/B + rez 30% B/Y+ rez
Fotodokumentace (odtrhová zkouška přilnavosti)				
Průměrná hodnota klasifikace mřížkové zkoušky přilnavosti [-]	5 rozteč řezu 2 mm Nátěr po sejmutí speciální lepicí pásky se odtrhl od povrchu materiálu	1 rozteč řezu 2 mm	5 rozteč řezu 2 mm Nátěr po sejmutí speciální lepicí pásky se odtrhl od povrchu materiálu	1 rozteč řezu 2 mm Nátěr po sejmutí speciální lepicí pásky se odtrhl od povrchu materiálu
Fotodokumentace				

Graf 12 a 13 znázorňuje hodnoty přilnavosti odtrhové a mřížkové zkoušky pro základní + vrchní nátěr po korozní zkoušce.



Graf 12 Vyhodnocení odtrhové pevnosti (základní + vrchní nátěr) po korozní zkoušce

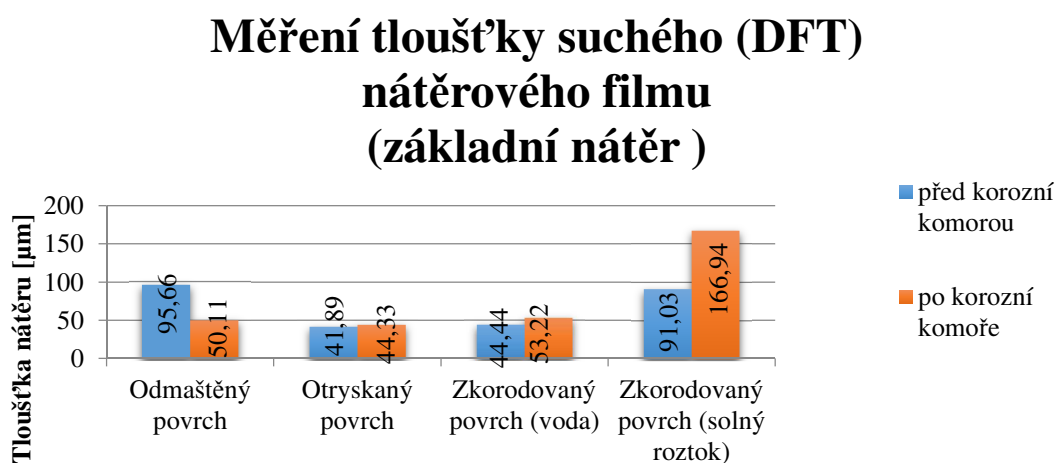


Graf 13 Vyhodnocení odtrhové pevnosti (základní + vrchní nátěr) po korozní zkoušce

14. Vyhodnocení zkoušek

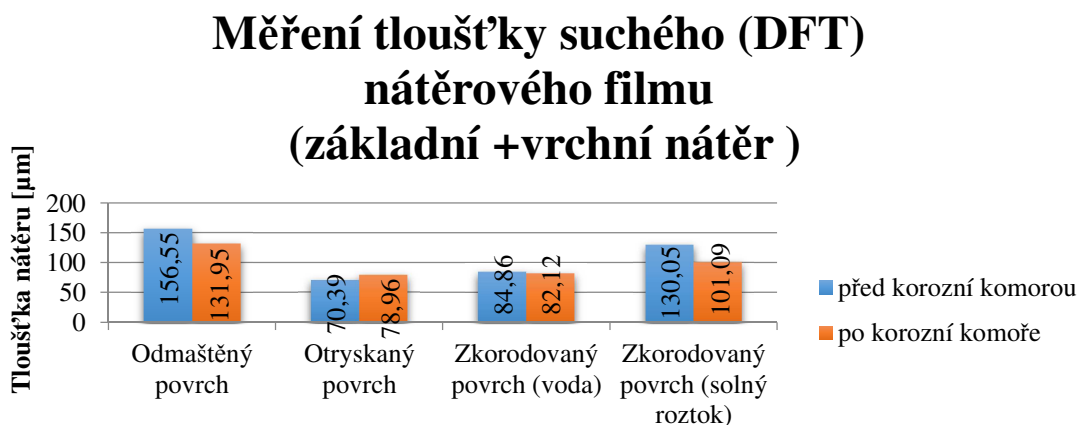
14.1 Vyhodnocení měření tloušťky nátěrového filmu (ČSN EN ISO 2808)

Graf 14 znázorňuje porovnání měření suché (DFT) tloušťky základního nátěru před a po exponování vzorků v umělém korozním prostředí. U zkorodovaných vzorků solným roztokem bylo zjištěno, že tloušťka nátěru po vyjmutí z korozní komory je o 75,91 μm větší než před jeho vložením. Toto zvětšení tloušťky nátěru je s největší pravděpodobností způsobeno pokračujícím korozním procesem základního materiálu v prostředí solné mlhy.



Graf 14 Porovnání tloušťky základního nátěru před a po zkoušce v korozní komoře

Graf 15 znázorňuje porovnání měření suché (DFT) tloušťky základního + vrchního nátěru před a po exponování vzorků v umělém korozním prostředí.

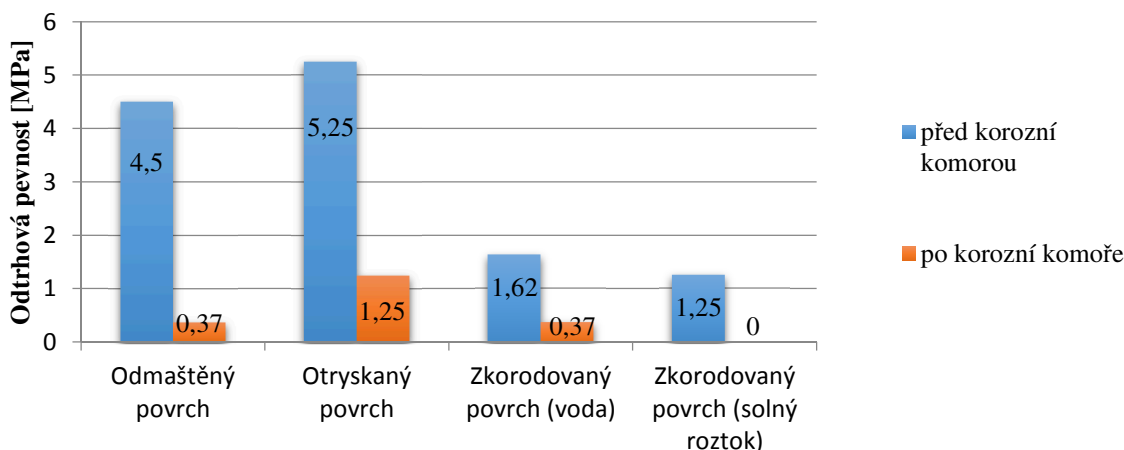


Graf 15 Porovnání tloušťky základního + vrchního nátěru před a po zkoušce v korozní komoře

14.2 Vyhodnocení odtrhové zkoušky dle normy ČSN EN ISO 16276-1

Graf 16 znázorňuje průměrné hodnoty odtrhové zkoušky přilnavosti před a po korozní zkoušce v solné mlze pro základní nátěr. Nejlepších výsledků dosáhly otryskané vzorky.

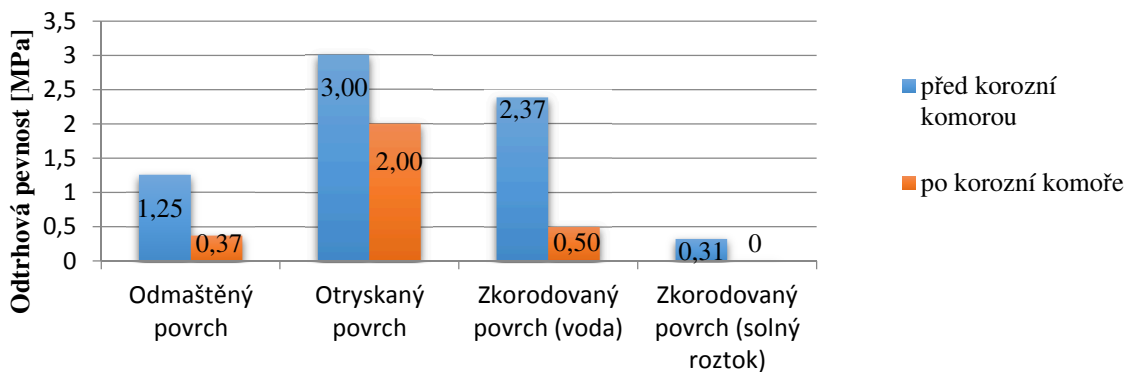
Odtrhová zkouška přilnavosti (základní nátěr)



Graf 16 Průměrné hodnoty odtrhové zkoušky základního nátěru

Graf 17 porovnává průměrné hodnoty odtrhové zkoušky přilnavosti před a po korozní zkoušce v solné mlze pro základní + vrchní nátěr. Největší odtrh byl naměřen u vzorků s otryskaným povrchem.

Odtrhová zkouška přilnavosti (základní + vrchní nátěr)

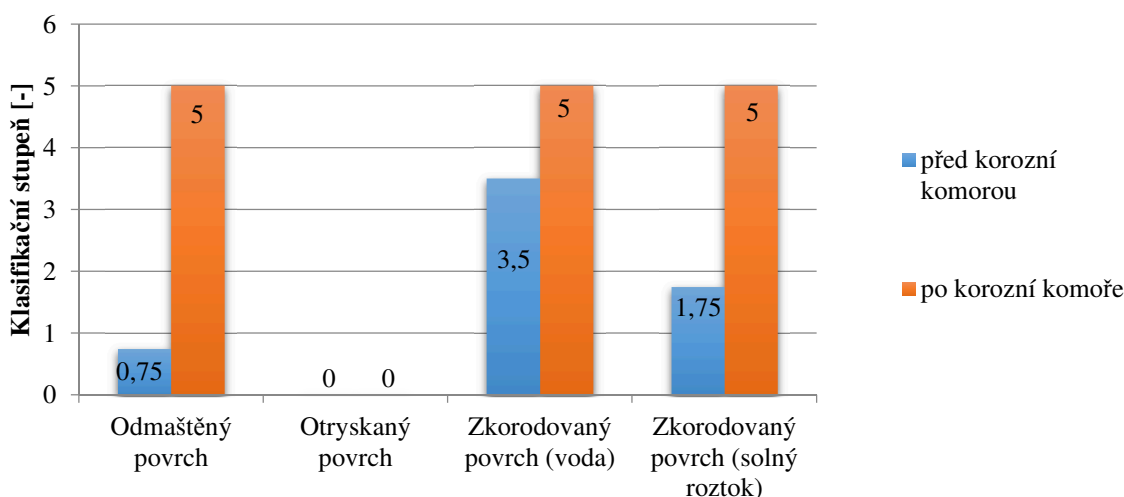


Graf 17 Průměrné hodnoty odtrhové zkoušky základního + vrchního nátěru před a po zkoušce v korozní komoře

14.3 Vyhodnocení mřížkové zkoušky dle normy ČSN EN ISO 16276-2

Graf 18 porovnává hodnoty mřížkové zkoušky přilnavosti před a po korozní zkoušce pro základní nátěr. Nejlepších výsledků přilnavosti dosáhly otryskané vzorky.

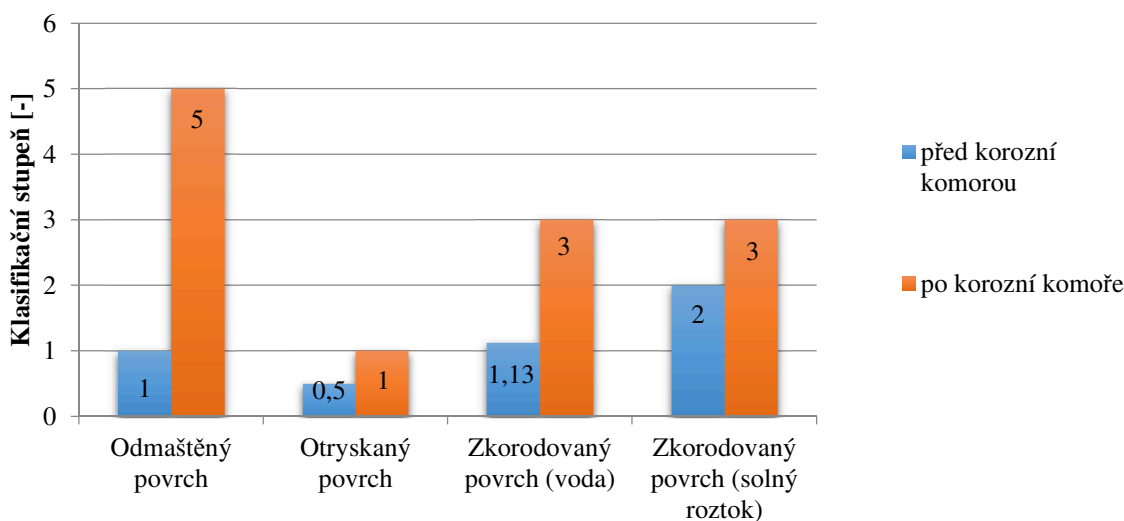
Mřížková zkouška přilnavosti (základní nátěr)



Graf 18 Průměrné hodnoty mřížkové zkoušky základního nátěru

Graf 19 porovnává hodnoty mřížkové zkoušky přilnavosti před a po korozní zkoušce pro základní + vrchní nátěr. Nejlepších výsledků přilnavosti dosáhly otryskané vzorky.

Mřížková zkouška přilnavosti (základní + vrchní nátěr)



Graf 19 Průměrné hodnoty mřížkové zkoušky základního + vrchního nátěru

15. Závěr

Bakalářská práce byla zaměřena na studium vlastnosti nátěrové hmoty tolerantní svým složením, která aktivně reaguje s materiálem, resp. se vzniklými korozními produkty.

Bakalářská práce je rozdělena na dvě části, část teoretickou a část experimentální. V teoretické části jsem popsal možnosti vzniku koroze v různých podmínkách prostředí, způsoby přípravy povrchu materiálu před aplikací nátěrového systému a správnou volbu nátěru pro průmyslovou údržbu. Na takto upravený povrch lze nanést vlastní nátěrový systém, který má za úkol ochránit materiál před různými typy koroze a tím snížit náklady související s pořízením nových materiálů v průmyslové výrobě. V experimentální části byly zhodnoceny vlastnosti zvoleného nátěrového systému pro využití v protikorozi ochraně, resp. v oblasti údržby a obnovy nátěrových systémů.

V bakalářské práci se zabývám výběrem vhodného nátěrového systému na různé předupravené povrchy materiálu. Byl použit základní nátěr doporučený pro aplikaci na rezavé nebo rzi znečištěné ocelové povrchy a tudíž z pohledu výrobce vhodný pro oblast údržby. Cílem bakalářské práce bylo zjistit, zda použitý nátěrový systém je vhodný na zkorodovaný povrch i na novou ocelovou konstrukci. Pro tento účel byl nátěrový systém aplikován na vzorky odmaštěné, otryskané a vzorky, u kterých byla uměle vytvořena koroze. Na takto připravené vzorky byl aplikován základní nátěr. Na základě provedených experimentálních zkoušek, jejímž účelem bylo měření přilnavosti nátěru k podkladovému materiálu, bylo zjištěno, že maximálních hodnot přilnavosti bylo dosaženo u vzorku otryskaných. Dále výsledky ukázaly nevhodnost nátěru pro zkorodované povrchy. Pro tento účel by bylo vhodné provést další experimentální zkoušky, kterými by byl stanoven maximální přípustný stupeň zarezavění povrchu před aplikací nátěru, popř. experimentálně vyzkoušet možnost aplikace více vrstev základního nátěru. Součástí experimentálních prací bylo i ověření kompatibility základního nátěru s běžně používaným průmyslovým vrchním nátěrem. Pro tento účel byl použit polyuretanový dvousložkový nátěr, který se vyznačuje vysokou odolností vůči povětrnostním vlivům, resp. vůči UV - záření. Po aplikaci vrchního nátěru na připravené vzorky byly opětovně provedeny experimentální zkoušky. Výsledkem je kompatibilita obou nátěrů, protože v průběhu provedené odtrhové zkoušky přilnavosti nedošlo k lomu mezi základním a vrchním nátěrem. Dále bylo zjištěno, že nejlepších výsledků přilnavosti bylo dosaženo opět u otryskaných vzorků. Vybrané vzorky se základním a vrchním nátěrem byly vloženy do korozní komory na předem stanovenou dobu. Pro vyhodnocení

vlastností nátěrových systémů po korozní komoře byly opět použity experimentální zkoušky, jejich účelem bylo měření přilnavosti k podkladovému materiálu. Vyhodnocením bylo zjištěno, že každý ze vzorků byl napaden korozí, která způsobila na nátěru tvorbu puchýřků. Nejméně znehodnocený nátěr puchýřky byl u vzorků se základním i vrchním nátěrem, jejichž povrch byl upraven mechanickým způsobem otryskáváním. Z provedených zkoušek bylo zjištěno, že nejlepší výsledek zkoumaného nátěrového systému je při aplikaci na povrch materiálu, který je upravený mechanickým způsobem (otryskáváním). Ostatní vzorky s přípravou povrchu: odmašťování, koroze neprokázaly kvalitní ochranu před korozí, jak uvádí testovaný nátěrový systém v technickém listu.

Bakalářská práce zabývající se studiem nátěrového systému vhodného pro oblast údržby, popř. obnovy nátěrového systému, poskytuje základní soubor výsledků hodnocení stupně přípravy povrchu na vlastnosti nátěrového systému. Na základě dosažených výsledků je vhodné pokračovat v testování nových nátěrů protikorozní ochrany.

Poděkování

Děkuji Ing. Renému Siostrzonkovi, Ph.D. za rady, podněty a připomínky při zpracování mé bakalářské práce. Především děkuji svým rodičům, kteří za mnou stáli po celou dobu studia a podporovali mne.

Seznam použité literatury

- [1] MOHYLA, M.: Technologie povrchových úprav kovů, VŠB-TU Ostrava, 2000, 156 s, ISBN 80-7078-953-0.
- [2] OSTRÁ, V. Atlas korozního napadení a povrchových úprav. Praha.
- [3] Protikorozní ochrana povlaky [online]. [cit. 2016-02-20]. Dostupné z: http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni_inzenyrstvi_se/koroze/o_povlak.htm#4
- [4] KREISLOVÁ, Kateřina a Hana GEIPLOVÁ. Technická zpráva I: Optimalizace bezpečnosti a životnosti existujících mostů. Praha, 2011.
- [5] Koroze [online]. FS ČVUT Praha, 2008 [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: http://www1.fs.cvut.cz/cz/U218/pedagog/predmety/1rocnik/chemie1r/prednes/Ch_predn13-Ko.pdf
- [6] Chos [online]. [cit. 2016-04-28]. Dostupné z: <http://www.chos.cz/resene-problemy/koroze/>
- [7] NOVÁK, P. a J. BYSTRIANSKÝ. *Koroze kovových materiálů*. ÚKMKI VŠCHT Praha, 2003.
- [8] BARTONÍČEK, Robert, et al. *Koroze a protikorozní ochrana kovů*. 1. vyd. Brno: Academia, 1966. 720 s.
- [9] Obecné Informace: Stupeň čistoty [online]. [cit. 2016-04-29]. Dostupné z: http://www.valsparindustrialmix.com/emea/cz/downloads/G5_Degree_of_Purity_CZ.pdf
- [10] ČSN EN ISO 8501-1:2007: *Příprava ocelových povrchů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků – Vizuální vyhodnocení čistoty povrchu – Část 1: Stupně zarezavění a stupně přípravy ocelového podkladu bez povlaku a ocelového podkladu po úplném odstranění předchozích povlaků*. Český normalizační institut, Praha, 2007, 15 s.
- [11] ČSN EN ISO 4287. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS)*. [s.l.]: [s.n.], 1998. 22 s.
- [12] *Jak vybrat správný nátěrový systém* [online]. [cit. 2016-04-30]. Dostupné z: www.hempel.cz/~media/Sites/hempel-cz/..iso-cz-20140515-final.pdf
- [13] ČSN EN ISO 12944-5 - *Nátěrové hmoty: Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy Část 5: Ochranné nátěrové systémy*. 2008.
- [14] *Údajový list VpCI základní nátěr na zkorodované povrchy*.
- [15] Hempel [online]. [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: <http://www.hempel.cz/cs-CZ/products/>
- [16] Siostrzonek, R.: *Studium vývojové řady ochranných systémů na bázi siloxanu*. Ostrava VŠB – technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2007, 150 s. Vedoucí práce: doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.
- [17] ČSN ISO 8502-3: *Příprava ocelových podkladů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků. Zkoušky pro vyhodnocení čistoty povrchu. Část 3: Stanovení*

prachu na ocelovém povrchu připraveného pro natírání. Český normalizační institut. Praha, 1996. 12 s

- [18] *ČSN ISO 8503-2: Příprava ocelových podkladů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků. Charakteristika drsnosti povrchu otryskaných ocelových podkladů-Část 2: Hodnocení profilu povrchu otryskané oceli komparátorem.* Český normalizační institut. Praha, 1996.12s
- [19] *ČSN EN ISO 8502-6: Příprava ocelových podkladů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků - Zkoušky pro vyhodnocení čistoty povrchu - Část 6: Extrakce rozpustných nečistot pro analýzu - Breslova metoda.* Český normalizační institut. Praha, 2007. 12 s
- [20] *ČSN EN ISO 8502-9: Příprava ocelových podkladů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků - Zkoušky pro vyhodnocení čistoty povrchu - Část 9: Provozní metoda pro konduktometrické stanovení solí rozpustných ve vodě.* Český normalizační institut. Praha, 2001.
- [21] *ČSN EN ISO 4628 - 1,2,3,4,5,6: Nátěrové hmoty : Hodnocení degradace nátěrů. Klasifikace množství a defektů a intenzity jednotlivých změn vzhledu.* Praha, 2004.

Seznam obrázků:

Obrázek 1 Stupeň agresivity prostředí pro ocel [2].....	17
Obrázek 2 Rovnoměrná koroze (1 - původní povrch; 2 - povrch po korozi) [8]	18
Obrázek 3 Nerovnoměrná koroze [8].....	19
Obrázek 4 Důlková koroze [7].....	19
Obrázek 5 Bodová koroze [8]	20
Obrázek 6 Mezikrystalová koroze [8].....	20
Obrázek 7 Vstupní materiál	33
Obrázek 8 Odmaštěný povrch materiálu.....	37
Obrázek 9 Povrch vzorku po odmaštění, zvětšení 100x	37
Obrázek 10 Fotodokumentace odmaštěných vzorků	37
Obrázek 11 Povrch materiálu po otryskávání, zvětšení 20x	38
Obrázek 12 Povrch materiálu po otryskávání, zvětšení 20x	38
Obrázek 13 Povrch materiálu po očištění (ofoukání), zvětšení 20x.....	38
Obrázek 14 Fotodokumentace otryskaných vzorků	38
Obrázek 15 Povrch vzorků ovhčován po dobu dvou měsíců čistou vodou	39
Obrázek 16 Povrch vzorků ovhčován po dobu tří měsíců 10-ti procentním roztokem soli.....	39
Obrázek 17 Povrch vzorku koroze po nanesení čistou vodou, zvětšení 10x	40
Obrázek 18 Povrch vzorku koroze po nanesení 10% solného roztoku, zvětšení 10x	40
Obrázek 19 Fotodokumentace vzorků koroze voda a koroze 10% roztoku soli	40
Obrázek 20 Drsnoměr Mitutoyo Surfes SJ-301	41
Obrázek 21 Měření vzorků v podélném směru	41
Obrázek 22 Měření vzorků v příčném směru.....	41
Obrázek 23 Schéma profilu drsnosti [16]	42
Obrázek 24 Obrázková stupnice odpovídajícího množství prachu dle ISO 8502-3 [17].....	44
Obrázek 25 Zaprášení povrchu odmaštěného materiálu	45
Obrázek 25 Zaprášení povrchu otryskaného materiálu.....	45
Obrázek 27 ISO komparátor (G).....	46
Obrázek 28 Sada testovacích inkoustů.....	47

Obrázek 29 Měření povrchového napětí speciálním inkoustem na otryskaném povrchu.....	47
Obrázek 30 Zařízení pro analýzu nečistot Breslovou metodou	48
Obrázek 31 Celkové množství soli p_A na povrchu v závislosti na změnách konduktivity $\Delta\gamma$ [20].	50
Obrázek 32 Vznik bubliny po natření odmaštěného vzorku, zvětšení 20x	53
Obrázek 33 Povrch otryskaného materiálu po očištění (ofoukání), zvětšení 20x	53
Obrázek 34 Otryskaný povrch s vystupujícími vrcholky nerovností, zvětšení 20x.....	53
Obrázek 35 Uměle zkorodovaný povrch s bublinami a prostupující rzí, zvětšení 20x	53
Obrázek 36 Vrchní nátěr	55
Obrázek 37 Měřicí hřeben pro stanovení mokrého filmu	56
Obrázek 38 Tloušťkoměr ELCOMETER 456 pro stanovení suché tloušťky nátěru	56
Obrázek 39 Zařízení pro provedení odtrhové zkoušky, a) zařízení F-106 odtrhoměr, b) použité lepidlo ARALDITE.....	62
Obrázek 40 Korozní komora zkouška solnou mlhou [16]	71
Obrázek 41 Fotodokumentace odmaštěných vzorků po korozní zkoušce	72
Obrázek 42 Fotodokumentace otryskaných vzorků po korozní zkoušce	72
Obrázek 43 Fotodokumentace (koroze čistá voda) vzorků po korozní zkoušce	73
Obrázek 44 Fotodokumentace (koroze 10% solný roztok) vzorků po korozní zkoušce	73

Seznam tabulek:

Tabulka 1 Kvalitativní popis prostředí atmosféry dle ČSN EN ISO 9223 [4].....	16
Tabulka 2 Průměrná korozní rychlost uhlíkové oceli [2].....	17
Tabulka 3 Hodnocení kvality otryskávaného povrchu dle ČSN EN ISO 8501-1 [10]	24
Tabulka 4 Mechanické vlastnosti materiálu S355MC	33
Tabulka 5 Chemické složení materiálu S355MC.....	33
Tabulka 6 Výsledky drsnosti povrchu materiálu S355MC	34
Tabulka 7 Technologické podmínky odmašťování.....	36
Tabulka 8 Technologické podmínky.....	37
Tabulka 9 Naměřené hodnoty drsnosti vstupního materiálu povrchu.....	42
Tabulka 10 Naměřené hodnoty drsnosti otryskaný povrch.....	43
Tabulka 11 Naměřené hodnoty drsnosti odmaštěný povrch	43
Tabulka 12 Třídy velikosti povrchových částí dle ISO 8502-3 [17].....	44
Tabulka 13 Komparátory pro ocel otryskanou ostrohrannými prostředky[18].....	45
Tabulka 14 Mezní hodnoty stupňů drsnosti [18]	46
Tabulka 15 Standardní cely [19].....	48
Tabulka 16 Měření výskytu soli na povrchu materiálu.....	50
Tabulka 17 Technologické parametry aplikace základního nátěru	52
Tabulka 18 Výsledky měření mokré tloušťky (WFT) a suché tloušťky (DFT) základního nátěru..	52
Tabulka 19 Technologický postup aplikace vrchního nátěru.....	54
Tabulka 20 Výsledky měření mokré tloušťky (WFT) a suché tloušťky (DFT) vrchního nátěru....	54
Tabulka 21 Hodnoty tlouštěk mokrého a suchého základního nátěru – otryskaný povrch.....	57
Tabulka 22 Hodnoty tlouštěk mokrého a suchého základního nátěru – odmaštěný povrch	57
Tabulka 23 Hodnoty tlouštěk mokrého a suchého základního nátěru – zkorodovaný povrch 10% roztokem soli.....	58
Tabulka 24 Hodnoty tlouštěk mokrého a suchého základního nátěru – zkorodovaný povrch čistou vodou.....	59
Tabulka 25 Hodnoty tlouštěk mokrého nátěru (základní + vrchní nátěr)	60
Tabulka 26 Hodnoty tlouštěk suchého nátěru (základní + vrchní nátěr)	61
Tabulka 27 Klasifikace mřížkové zkoušky [16]	64

Tabulka 28 Přilnavost základního nátěru	64
Tabulka 29 Přilnavost nátěrového systému na různé povrchy materiálu (základní + vrchní nátěr)	67
Tabulka 30 Vyhodnocení korozní zkoušky solnou mlhou podle ČSN EN ISO 4628-2,3	72
Tabulka 31 Tloušťky suchého nátěrového filmu po exponování vzorku v korozní komoře	73
Tabulka 32 Výsledky odtrhové a mřížkové zkoušky pro základní nátěr na různé povrchy materiálu po korozní komoře	75
Tabulka 33 Výsledky odtrhové a mřížkové zkoušky pro základní + vrchní nátěr na různé povrchy materiálu po korozní komoře	78

Seznam grafů:

Graf 1 Porovnání parametrů drsnosti povrchu	43
Graf 2 Naměřené hodnoty tloušťek suchého filmu povlaku základního nátěru	60
Graf 3 Naměřené hodnoty tloušťek suchého filmu povlaku vrchního nátěru.....	61
Graf 4 Vyhodnocení odtrhové pevnosti (základní nátěr).....	66
Graf 5 Vyhodnocení mřížkové zkoušky přilnavosti (základní nátěr)	66
Graf 6 Vyhodnocení odtrhové pevnosti (základní +vrchní nátěr).....	69
Graf 7 Vyhodnocení mřížkové zkoušky (základní + vrchní nátěr).....	69
Graf 8 Naměřené hodnoty tloušťek suchého filmu povlaku základního nátěru po korozní zkoušce.....	74
Graf 9 Naměřené hodnoty tloušťek suchého filmu povlaku základního + vrchního nátěru po korozní zkoušce.....	74
Graf 10 Vyhodnocení odtrhové pevnosti (základní nátěr) po korozní zkoušce	76
Graf 11 Vyhodnocení mřížkové zkoušky (základní nátěr) po korozní zkoušce	77
Graf 12 Vyhodnocení odtrhové pevnosti (základní + vrchní nátěr) po korozní zkoušce.....	79
Graf 13 Vyhodnocení odtrhové pevnosti (základní + vrchní nátěr) po korozní zkoušce.....	79
Graf 14 Porovnání tloušťky základního nátěru před a po zkoušce v korozní komoře	80
Graf 15 Porovnání tloušťky základního + vrchního nátěru před a po zkoušce v korozní komoře....	80
Graf 16 Průměrné hodnoty odtrhové zkoušky základního nátěru	81
Graf 17 Průměrné hodnoty odtrhové zkoušky základního + vrchního nátěru před a po zkoušce v korozní komoře	81
Graf 18 Průměrné hodnoty mřížkové zkoušky základního nátěru	82
Graf 19 Průměrné hodnoty mřížkové zkoušky základního + vrchního nátěru.....	82